



PENGARUH VARIASI JARAK *SPRAY* PELAPISAN *FeCrMnNiCSi* METODE *WIRE ARC SPRAY* TERHADAP *ABRASIVE WEAR RESISTANCE* DAN POROSITAS *GREY CAST IRON FC25*

FAJAR KURNIAWATI
NRP. 2713 100 047

Dosen Pembimbing

Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - TL 091584

PENGARUH VARIASI JARAK *SPRAY* PELAPISAN FeCrMnNiCSi METODE *WIRE ARC SPRAY* TERHADAP *ABRASIVE* *WEAR RESISTANCE* DAN POROSITAS *GREY CAST IRON FC 25*

FAJAR KURNIAWATI
NRP. 2713 100 047

Dosen Pembimbing:
Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 091584

EFFECT OF SPRAY DISTANCE VARIATION USING WIRE ARC SPRAY METHOD IN POROSITY AND ABRASIVE WEAR RESISTANCE FeCrMnNiCSi COATING ON GREY CAST IRON FC 25

FAJAR KURNIAWATI
NRP. 2713 100 047

Advisor
Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

MATERIALS AND METLLURGICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017

(This page left intentionally blank)

**PENGARUH VARIASI JARAK *SPRAY* PADA
PELAPISAN FeCrNiMnCSi METODE *WIRE ARC*
SPRAY TERHADAP *ABRASIVE WEAR*
RESISTANCE DAN POROSITAS *GREY CAST*
*IRON FC25***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FAJAR KURNIAWATI

NRP. 2713 100 047

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng (Pembimbing 1)
2. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si (Pembimbing 2)



**Pengaruh Variasi Jarak *Spray* Pelapisan
FeCrNiMnCSi Metode *Wire Arc Spray* terhadap
Porositas dan Abrasive Wear Resistance *Grey Cast
Iron FC25***

Nama Mahasiswa : Fajar kurniawati
NRP : 2713 100 047
Jurusan : Departemen Teknik Material dan
Metalurgi
Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si

ABSTRAK

Pada operasi mesin motor, ruang pembakaran akan menghasilkan tekanan dan temperatur gas yang tinggi sehingga untuk mencegah kebocoran kompresi ini pada piston dipasang *ring* guna memperkecil celah antara dinding *cylinder liner* dengan piston yang bergerak bolak balik. Gesekan antara *ring piston* dan *cylinder liner* menyebabkan permukaan silinder tergerus hingga mengakibatkan hilangnya material dari komponen, peristiwa tergerusnya permukaan lain oleh partikel yang lebih keras disebut *Abrasive wear* atau keausan abrasif. Keausan dapat dikurangi dengan memilih bahan *cylinder liner* yang bersifat tahan terhadap gesekan sekaligus memiliki pemuai rendah, sifat ini dimiliki oleh *grey cast iron*. Untuk meningkatkan ketahanan aus pada penelitian ini dilakukan proteksi lebih berupa pelapisan logam *FeCrNiMnCSi* pada substrat *grey cast iron FC 25* menggunakan metode *wire arc spray*, dengan variasi jarak *spray* 100mm, 150mm, 200mm, dan 250mm. Hasil uji porositas menunjukkan bahwa semakin jauh jarak *spray* maka nilai porositasnya semakin kecil, didapatkan presentase nilai porositas terendah 5,4974% pada jarak *spray* 250mm.

Sementara hasil pengujian ketahanan abrasiv menunjukkan nilai ketahanan abrasif tertinggi sebesar 27,688rotation/mg dengan jarak spray 250mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak spray nilai ketahanan abrasif semakin besar.

Kata Kunci: Cylinder liner, Besi Cor Kelabu, FC25, Keausan, Ketahanan Abrasif.

**Effect of Spray Distance Variation using Wire Arc Spray
Method in Porosity and Abrasive Wear Resistance
FeCrNiMnCSi Coating on Gray Cast Iron FC25**

Name : Fajar kurniawati
NRP : 2713 100 047
Departemen : Materials and Metallurgical
Engineering
Advisor : Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si

ABSTRACT

In operation of motor engine, combustion chamber will produce high pressure and gas temperature in order to avoid leakage of compression the piston is installed ring to minimize the gap between cylinder liner wall and piston. Friction between the piston rings and the cylinder liner cause the cylinder surface crumble to the point of loss of material from the component, another erupted surface by the more violent particles called Abrasive wear. Wear can be reduced by choosing a cylindrical liner material that is resistant to friction and has low expansion, this property and the properties is owned by gray cast iron. To improve the wear resistance in this research, protection of FeCrNiMnCSi metal coating on gray cast iron FC 25 substrate has been added using wire arc spray method with variation of spray distance of 100mm, 150mm, 200mm and 250mm. Porosity test results showed that the longer distance spray, the porosity value is smaller, obtained percentage of the lowest porosity value of 5.4974% at 250mm spray spacing. While the abrasive resistance test results show the highest abrasive resistance value of 27,688 rotation/ mg with a spray spacing of 250mm. This indicates that the greater the spray distance the greater the abrasive resistance value.

Keywords: Cylinder liner, Grey Cast Iron, FC25, Wear, Abrasive Resistance.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Variasi Jarak *Spray* Metode *Wire Arc Spray* terhadap Porositas dan *Abrasive Wear Resistance* Pelapisan *FeCrNiMnCSi* pada *Grey Cast Iron FC25*”.

Terima kasih kepada semua pihak yang berperan pada penulisan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah Subhanahu Wata’ala, atas Rahmat-Nya sehingga saya dapat mendapatkan hidayah dan bimbingan untuk tetap istiqomah sehingga mampu menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Taufiq Qurahman dan Ibu Sumiyah, sebagai orang tua tercinta, atas jasa-jasanya yang tak terhingga dalam mendidik dan membesarkan saya.
3. Kakak Adnan Galendra Abiyazka yang selalu menghibur penulis saat suntuk dan penat dalam menjalani aktifitas.
4. Alifah Rahmawati selaku kakak kandung yang telah banyak memfasilitasi selama Tugas Akhir ini dan selalu mensupport penulis.
5. M. Chandra Kurniawan selaku adik kandung yang selalu bersedia menolong penulis ketika dalam kesusahan dan selalu mensupport penulis.
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS dan Pembimbing pertama dalam pengerjaan TA.
7. Ibu Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si sebagai dosen pembimbing kedua yang saya hormati. Terima kasih atas segala bimbingan, masukan, dan saran yang ibu berikan.

8. Bapak Budi Agung, ST, M.Sc, selaku dosen andalan yang telah banyak sekali membantu penulis dalam pengerjaan TA.
9. Bapak Larasanto dan Bapak Anto PT. Cipta Agung atas kerjasamanya dalam pengerjaan proses *coating*.
10. Anggota Grup “MA” yaitu Pipit, Ayu, dan Mustika atas segala kenangan dan supportnya selama berkuliah di Jurusan teknik Material dan Metalurgi.
11. Anggota Grup WA Pemburu Hantu, Uyung, Tutik, Dora, Trias dan Mbok Ina selaku teman baik dari SMP yang selalu menjadi tempat curahan hati bagi penulis dan sharing hal-hal baik.
12. Anggota Grup Pejuang TA Korosi yang banyak membantu penulis dan selaku teman diskusi yang baik.
13. Seluruh teman-teman seperjuangan saya MT-15, terima kasih selalu saling menguatkan dalam usaha dan doa untuk kesuksesan.
14. Kepada semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, trimakasih atas semua pengalaman, dukungan, dan masukan yang diberikan untuk penulis, semoga kita Selalu dalam lindungan Allah SWT.

Dengan menyadari keterbatasan ilmu, tentu laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saya selaku penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	2
1.3.Batasan Masalah	2
1.4.Tujuan Penelitian	3
1.5.Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sistem Kerja <i>Cylinder liner-Ring Piston</i>	5
2.2 Pelapisan Permukaan Logam	9
2.3 <i>Thermal Spray</i>	10
2.4 Tribologi	13
2.5 Keausan	15
2.6 Diagram Fasa dan Coat Fe-Cr	19
2.7 <i>Grey Cast Iron</i>	20
2.8 Karakteristik <i>Thermal Spray Coating</i>	23
2.9 Penelitian Sebelumnya	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Rancangan penelitian	28
3.3 Metode Perancangan	28
3.4 Bahan Penelitian	29
3.5 Alat Penelitian	32
3.6 Prosedur Penelitian	33
3.6.1 Preparasi Spesimen FC 25	33

3.6.2 Proses Pelapisan	33
3.6.3 Proses Pengujian dan Analisis.....	36

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Sampel dan Proses Pelapisan.....	45
4.2 Hasil Pengujian SEM/EDS.....	46
4.2.1 Morfologi Permukaan <i>Coating</i>	46
4.2.2 Morfologi Penampang Lintang dan Ketebalan ..	47
4.2.3 Pengujian EDS.....	52
4.2.4 Analisis Area Poros menggunakan ImageJ	58
4.3 Analisis <i>Apparent Porosity</i>	62
4.4 Analisis XRD	63
4.5 Pengamatan Kekasaran pada Permukaan <i>Coating</i>	65
4.6 Analisis Kekerasan.....	66
4.7 Analisis Pengujian <i>Pull Off Bonding</i>	68
4.8 Analisis Ketahanan Abrasif.....	70

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran.....	73

DAFTAR PUSTAKA	xix
-----------------------------	-----

LAMPIRAN	xxiii
-----------------------	-------

BIODATA PENULIS	xxxiii
------------------------------	--------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagian Mekanik Utama Motor Bensin	5
Gambar 2.2	<i>Cross-Section Cylinder</i> pada <i>IC Engine</i>	6
Gambar 2.3	Kerja Mesin Empat Tak	8
Gambar 2.4	Simulasi Sistem Piston Ring-Cylinder Bore	8
Gambar 2.5	Proses <i>Wire Arc Spray</i>	12
Gambar 2.6	Standard <i>Volumetric Flow-Rate</i>	13
Gambar 2.7	Tipe <i>Adhesive Wear</i>	17
Gambar 2.8	Mekanisme <i>Abrasive Wear</i>	18
Gambar 2.9	Diagram Fasa FeCr	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2	Mesin <i>Sand Blasting</i>	33
Gambar 3.3	Proses Pelapisan <i>Wire Arc Spray</i>	34
Gambar 3.4	Alat Uji Kekasaran.....	37
Gambar 3.5	Alat Uji SEM	38
Gambar 3.6	Alat Uji XRD	39
Gambar 3.7	Alat <i>MicroHardness</i>	39
Gambar 3.8	Alat Uji Abrasif.....	40
Gambar 3.9	Alat Uji <i>Pull Of Bonding</i>	42
Gambar 4.1	Permukaan <i>Grey Cast Iron</i> FC25.....	43
Gambar 4.2	Morfologi Permukaan <i>Coating</i> Hasil SEM	47
Gambar 4.3	Ketebalan <i>Coating</i>	48
Gambar 4.4	Data Hasil Ketebalan <i>Coating</i>	49
Gambar 4.5	Cross Section Spesimen <i>Coating</i>	51
Gambar 4.6	<i>Mapping Cross Section</i> Jarak <i>Spray</i> 100mm	53
Gambar 4.7	<i>Mapping Cross Section</i> Jarak <i>Spray</i> 150mm	54
Gambar 4.8	<i>Mapping Cross Section</i> Jarak <i>Spray</i> 200mm	55
Gambar 4.9	<i>Mapping Cross Section</i> Jarak <i>Spray</i> 250mm	56
Gambar 4.10	Analisis Area Poros <i>Surface Coating</i>	59
Gambar 4.11	Presentase Area Poros <i>Surface Coating</i>	60
Gambar 4.12	Analisis Area Poros <i>Cross-Section</i>	61
Gambar 4.13	Presentase Area Poros <i>Cross Section</i> Spesimen.....	62
Gambar 4.14	Hasil XRD Sampel <i>Coating</i> Jarak.....	64
Gambar 4.15	Hasil Data Kekerasan Spesimen <i>Coating</i>	67

Gambar 4.16	Pengujian <i>Pull Off Bonding</i> Spesimen <i>Coating</i>	69
Gambar 4.17	Pengamatan Visual Uji <i>Pull Off Bonding</i>	69
Gambar 4.18	Spesime Sebelum dan Setelah Uji Abrasif	70
Gambar 4.19	Hasil Pengujian Ketahanan Abrasif.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Properti Berbagai Teknik Pelapisan	10
Tabel 2.2 Komposisi Material <i>Cylinder Liner</i>	22
Tabel 2.3 Perbandingan Metode Proses Pelapisan	24
Tabel 3.1 Rancangan Pengujian Spesimen.....	28
Tabel 3.2 Komposisi Kimia FC25.....	30
Tabel 3.3 Propertis Mekanik FC25	30
Tabel 3.4 Komposisi Kimia <i>Brown Aluminum Oxide</i>	31
Tabel 3.5 Propertis <i>Brown Aluminum Oxide</i>	31
Tabel 3.6 Komposisi Kimia Metcoloy 2	32
Tabel 3.7 Properties Wire Coat Metcoloy 2.....	32
Tabel 3.8 Spesifikasi Peralatan <i>Abrasive Grit Blasting</i>	34
Tabel 3.9 Spesifikasi Mesin Aplikasi <i>Arc Spray</i>	36
Tabel 4.1 Ketebalan <i>Coating</i> Variasi Jarak <i>Spray</i>	48
Tabel 4.2 PresentaseMassa Unsur Spesimen <i>Coating</i>	52
Tabel 4.3 Presentase Area Poros <i>Surface Coating</i>	60
Tabel 4.4 Hasil Area Poros <i>Cross Section Software ImageJ</i>	61
Tabel 4.5 Presentase <i>Apparent Pososity</i>	63
Tabel 4.6 Hasil Uji Kekerasan.....	65
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen	66
Tabel 4.8 Nilai Kelekatan Spesimen Hasil <i>Coating</i>	68
Tabel 4.9 Hasil Pengujian <i>Abrasive Wear Resistance</i>	71

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Silinder liner adalah komponen mesin yang dipasang pada blok silinder yang berfungsi sebagai tempat piston dan ruang bakar pada mesin otomotif. Pada saat langkah kompresi dan pembakaran akan dihasilkan tekanan dan temperatur gas yang tinggi, sehingga untuk mencegah kebocoran kompresi ini maka pada piston dipasang cincin atau *ring piston* untuk memperkecil celah antara dinding silinder liner dengan piston yang bergerak bolak balik (Arthana, 2014).

Keausan didefinisikan sebagai kerusakan permukaan benda yang secara umum berhubungan dengan peningkatan hilangnya material yang disebabkan oleh pergerakan relatif benda dan sebuah substansi kontak. Keausan yang disebabkan oleh perilaku mekanis digolongkan menjadi *abrasive*, *adhesive*, *flow* dan *fatigue wear*. *Abrasive wear* terjadi jika partikel keras atau permukaan keras yang kasar menggerus dan memotong permukaan sehingga mengakibatkan hilangnya material yang ada di permukaan tersebut (Abidin, 2010).

Menurut AISI (Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia) jumlah sepeda motor yang terjual pada tahun 2016 adalah sebesar 5,931,585 unit. Pemilihan bahan silinder liner memerlukan material yang memiliki sifat tahan terhadap gesekan dan pemuaian yang rendah karena berfungsi sebagai tempat piston bekerja sehingga memerlukan bahan yang tahan saat beroperasi pada temperatur dan tekanan tinggi, sifat ini juga dimiliki oleh besi cor kelabu tipe FC 25 yang banyak digunakan untuk bahan material pembuatan *automotive engine*. Tuntutan lain yang harus dipenuhi oleh silinder liner adalah tahan terhadap kebocoran karena kebocoran kompresi ini dapat terjadi jika terdapat porositas pada bahan (Situngkir, 2009).



Untuk hasil yang maksimal diperlukan proteksi berupa pelapisan permukaan. Teknologi pelapisan material merupakan cara yang efektif untuk menahan degradasi seperti keausan, oksidasi, korosi, atau kerusakan pada temperatur tinggi tanpa mengorbankan material *substrat* yang dilapisinya. Pada penelitian ini digunakan metode *Wire Arc Spray* dengan material *wire coat* FeCrNiMnCSi. Proses *Wire Arc Spray* biasa digunakan untuk merekondisi ulang komponen mesin yang aus akibat gesekan, cairan kimia, kemungkinan juga air laut.

Dalam penelitian ini dilakukan variasi jarak *spray* pada proses pelapisan besi cor FC 25 agar memperoleh jarak optimum untuk mendapatkan lapisan yang baik dan tahan terhadap keausan dan porositas.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan uraian pada latar belakang yang berkaitan dengan jarak *spray*, maka permasalahan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jarak *spray* terhadap porositas pada pelapisan permukaan FC25 dengan FeCrNiMnCSi metode *wire arc spray*?
2. Bagaimana pengaruh jarak *spray* terhadap keausan pada pelapisan FC25 dengan FeCrNiMnCSi metode *wire arc spray*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dan pembahasan menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut:

1. *Feed pressure* dianggap konstan.
2. Tekanan *spray* dianggap sama.
3. Sudut *nozzle* dianggap sama.
4. Waktu *spray* dianggap sama



5. Spesimen uji dianggap homogen.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh jarak *spray* terhadap porositas pada pelapisan permukaan FC25 dengan FeCrNiMnCSi metode *wire arc spray*.
2. Menganalisa pengaruh jarak *spray* terhadap keausan abrasif pada pelapisan FC25 dengan FeCrNiMnCSi metode *wire arc spray*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai rekomendasi kepada pihak terkait dalam penanganan *Grey Cast Iron* tipe FC 25 pada aplikasi *Cylinder Liner* serta sebagai inspirasi dan referensi bagi peneliti lain untuk mengembangkan penelitian ini.



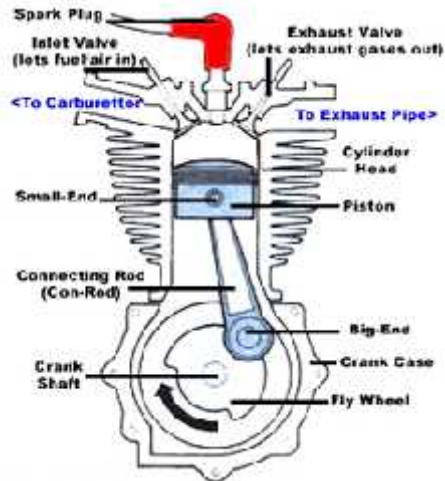
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

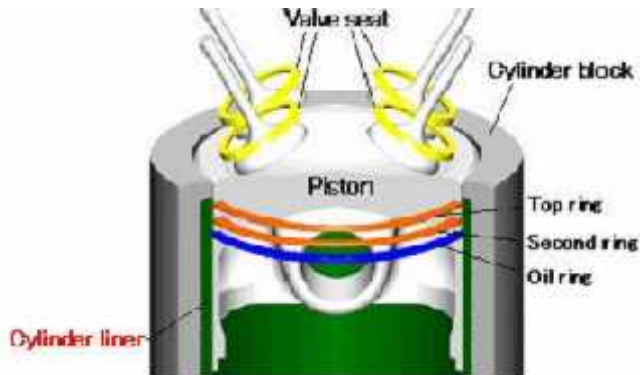
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kerja Cylinder liner-Ring Piston

Mesin adalah perangkat yang mengubah satu bentuk energi ke bentuk lain. Saat mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk lain, konversi efisiensi memainkan peran penting. Ring piston dalam sebuah mesin memuat kontribusi penting dalam hal volumetric efficiency dengan menyegel cylinder bore dan piston. Ring piston adalah bagian terpenting dari mesin diesel. Fungsi utama dari ring piston untuk menutup ruang pembakaran dengan crankcase pada mesin. Tujuannya adalah untuk mencegah gas pembakaran dari crankcase dan minyak melewati ruang pembakaran. Gambar 2.1 dan 2.2 menampilkan bagian utama dari mesin motor bensin dan *cross section* silinder pada *internal combustion engine* (Fitri, 2014).



Gambar 2.1 Bagian Mekanik Utama Motor Bensin (Fitri dkk, 2014)



Gambar 2.2 *Cross-Section Cylinder pada Internal Combustion Engine (Anand dkk,2015)*

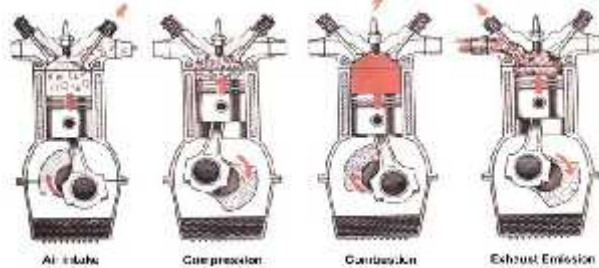
Motor bakar torak bensin seperti gambar 2.1 merupakan mesin pembangkit tenaga yang mengubah bahan bakar bensin menjadi tenaga panas dan akhirnya menjadi tenaga mekanik. Secara garis besar motor bensin tersusun oleh beberapa komponen utama meliputi ; blok silinder (*cylinder block*), kepala silinder (*cylinder head*), poros engkol (*crank shaft*), piston, batang piston (*connecting rod*), roda penerus (*fly wheel*), poros cam (*cam shaft*) dan mekanik katup (*valve mechanic*). Blok silinder adalah komponen utama motor, sebagai tempat pemasangan komponen mekanik dan system–system mekanik lainnya. Blok silinder mempunyai lubang silinder tempat piston bekerja, bagian bawah terdapat ruang engkol (*crank case*), mempunyai kedudukan bantalan (*bearing*) untuk pemasangan poros engkol. Bagian silinder dikelilingi oleh lubang-lubang saluran air pendingin dan lubang oli. Kepala silinder dipasang di bagian atas blok silinder, kepala silinder terdapat ruang bakar, mempunyai saluran masuk dan buang. Sebagai tempat pemasangan mekanisme katup. Poros engkol dipasang pada kedudukan blok silinder bagian bawah yang diikat dengan bantalan. Dipasang pula dengan batang piston bersama piston dan kelengkapannya.



Sedangkan roda penerus dipasang pada pangkal poros engkol (*flens crank shaft*). Roda penerus dapat menyimpan tenaga, membawa piston dalam siklus kerja motor, menyeimbangkan putaran dan mengurangi getaran mekanik mesin (Fitri dkk, 2014).

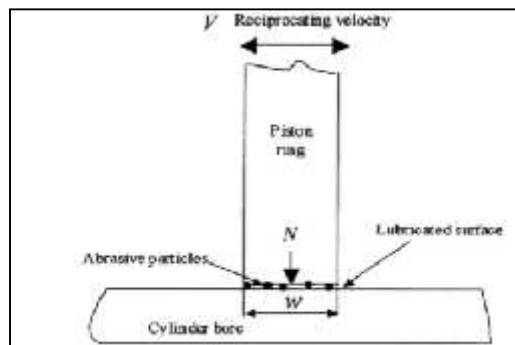
Motor empat langkah seperti pada gambar 2.3 adalah motor yang setiap siklus kerjanya diselesaikan dalam empat kali gerak bolak balik langkah piston atau dua kali putaran poros engkol (*crank shaft*). Langkah piston adalah gerak piston tertinggi/teratas disebut titik mati atas (TMA) sampai yang terendah/terbawah disebut titik mati bawah (TMB). Sedangkan siklus kerja adalah rangkaian proses yang dilakukan oleh gerak bolak-balik translasi torak (piston) yang membentuk rangkaian siklus tertutup. Proses siklus motor empat langkah dilakukan oleh gerak torak (piston) dalam silinder tertutup, yang bekerja sesuai dengan pengaturan gerak katup atau mekanisme katup pada katup isap dan katup buang (Fitri dkk, 2014).

Piston bergerak kebawah, katup hisap terbuka dan katup buang menutup. Campuran udara dan bahan bakar dihisap masuk (melalui katup hisap) . Kemudian saat kompresi, piston bergerak keatas kedua katup menutup. Udara dan bahan bakar dimanfaatkan. Sesaat sebelum piston mencapai puncak busi memercikan bunga api dan membakar campuran oksigen dan udara. Tekanan meningkat dan mendorong piston kebawah (kedua katup menutup) sehingga dapat menggerakkan mesin. Setelah piston mencapai akhir dari langkah, katup buang membuka piston bergerak keatas mendorong sisa pembakaran keluar menuju knalpot (Suyatno, 2011).



Gambar 2.3 Kerja Mesin Empat Tak (Fitri dkk, 2014)

Simon C. Tung dan Young Huang telah mempelajari model dari kenaikan keausan sistem ring piston-silinder bore. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model dari keausan abrasif untuk sistem ring piston-silinder bore selama beroperasi. Ada temperatur, beban, oil degradation, kekasaran permukaan, dan material properties sebagai parameter. Dengan menggabungkan data kekerasan material, model dapat ditemukan pada sistem ring piston/cylinder bore. Setelah eksperimen didapatkan kesimpulan bahwa, berdasarkan laboratorium simulator, tiga bagian yang terkena keausan abrasif telah dikembangkan untuk memodelkan kenaikan keausan ring piston/cylinder bore dalam keadaan operasi steady state (Rachana dkk, 2015).



Gambar 2.4 Simulasi Sistem Piston Ring-Cylinder Bore (Simon, 2003).



2.2 Pelapisan Permukaan Logam

Pelapisan logam adalah suatu cara yang dilakukan untuk memberikan sifat tertentu pada suatu permukaan benda kerja, dimana diharapkan benda tersebut akan mengalami perbaikan baik dalam hal struktur mikro maupun ketahanannya, dan tidak menutup kemungkinan pula terjadi perbaikan terhadap sifat fisiknya. Pelapisan logam merupakan bagian akhir dari proses produksi suatu produk. Proses tersebut dilakukan setelah benda kerja mencapai bentuk akhir atau setelah proses pengerjaan mesin serta penghalusan terhadap permukaan benda kerja yang dilakukan. Dengan demikian, proses pelapisan termasuk dalam kategori pekerjaan finishing atau sering juga disebut tahap penyelesaian suatu produksi benda kerja. Material *coating* yang ideal digunakan untuk melapisi adalah sebagai berikut: (Supriyani, 2012)

1. Logam pelapis harus lebih tahan terhadap serangan lingkungan dibanding dengan logam yang dilindungi.
2. Logam pelapis tidak boleh memicu korosi setelah melapisi logam yang dilindungi.
3. Sifat mekanik dan fisik seperti kekuatan, ketahanan abrasi, ketahanan korosi, dan sifat termal harus memenuhi kondisi operasi komponen yang bersangkutan.
4. Metode pelapisan harus sesuai dengan metode fabrikasi komponen
5. Tebal pelapisan harus homogen dan tidak mengandung pori



Tabel 2.1 Propertis dari Berbagai Teknik Pelapisan(ASM Handbook Volume 5, 1994)

Teknik Pelapisan	Kec. Partikel (m/s)	Adhesi (MPa)	Kandungan Oksida (dalam logam %)	Porosit as (%)	Laju Deposisi (kg/jam)	Depositi Ketebalan (mm)
Flame	40	<8	10-15	10-15	1-10	0.2-10
Arc	100	10-30	10-20	5-10	6-60	0.2-10
Plasma	200-300	20-70	1-3	5-10	1-5	0.2-2
HVOF	600-1000	>70	1-2	1-2	1-5	0.2-2

2.3 Thermal Spray

Thermal spray adalah suatu proses pelapisan dimana bahan baku dipanaskan dan ditetaskan ke permukaan. Dalam termal spray, material dapat berupa serbuk, kawat atau batang dan dimasukkan ke dalam flame yang dihasilkan oleh *spray gun*, di mana material akan meleleh dan disemprot secara cepat menuju substrat yang akan dilapisi. Energi panas dan kinetik dari nyala api dapat diproduksi dengan pembakaran campuran bahan bakar gas dan oksigen, atau dengan menggunakan sumber daya listrik. Pelapisan thermal spray sering digunakan karena derajat kekerasan yang relative tinggi terhadap pelapisan cat (Setiawan dkk, 2013).

Proses wire flame spraying, pada dasarnya konsep prosesnya sama, bentuk material dan spraying gun-nya yang sedikit berbeda, karena material berbentuk kawat (wire). Pada proses ini pemakanan dari kawat (wire) dan pengaturan nyala api (flame) harus seimbang untuk menghasilkan penyemprotan lapisan yang merata dan baik. Adapun skema prosesnya seperti pada Gambar 2.5 . Proses flame spraying ini secara luas digunakan karena



memiliki biaya yang relatif rendah dan terjadinya kualitas pelapisan yang buruk dapat dicegah, dalam aplikasinya proses ini digunakan dalam hal proteksi korosi pada struktur dan komponen. Tidak terbatas pada material logam saja tapi juga pada material nonlogam (Haryati, 2010).

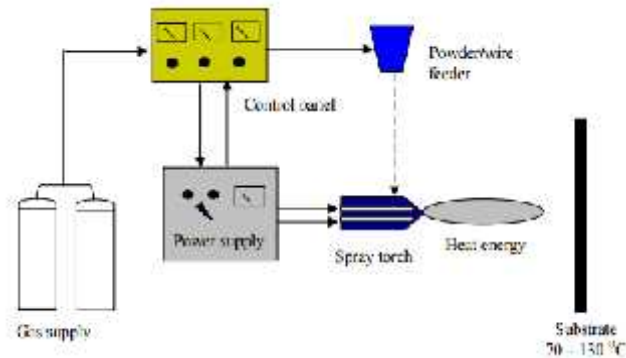
Pelapisan dengan metode Thermal Spray digunakan untuk; (i) meningkatkan ketahanan korosi dan ketahanan aus, (ii) perlindungan terhadap elektromagnetik atau elestrostatik, (iii) perlindungan terhadap gangguan frekuensi radio, (iv) metal buildup, dan (v) kosmetik. *Thermal Spray* dapat dikategorikan menjadi 5 proses: (Talib dkk, 2003)

1. *Flame arc spraying*
2. *Electric arc spraying*
3. *Plasma arc spraying*
4. *High-velocity Oxy/Fuel (HVOF)*
5. *Detonation Gun*

Untuk pelapisan logam dengan Thermal spray, kekerasan dan kepadatan lapisan tergantung pada bahan thermal spray, serta jenis peralatan thermal spray. Porositas lapisan tergantung juga pada proses Thermal spray, dan bahan Thermal spray. Arc spray merupakan metode thermal spray yang sederhana. Dapat digunakan di tempat dan tingkat cakupan yang relatif tinggi dibandingkan proses thermal spray yang lainnya. Wire lebih ekonomis dan mudah digunakan daripada serbuk (Setiawan dkk, 2013).

Wire-Arc (Arc-Spray) seperti gambar 2.5 menggunakan arus langsung (*direct current*) antara dua *conducting wires* untuk mencairkan *consumable wires*. Dua kawat bermuatan listrik dengan polaritas yang berlawanan dimasukkan ke dalam *arc gun*. Kabel tersebut dimasukkan ke spray torch. Hal itu membuat panas pada kabel sehingga cukup untuk terus mencairkan kawat saat sampai pada ujung kabel. Tetesan meleleh kemudian mendorong

ke permukaan substrat oleh atom gas seperti udara, argon dan nitrogen. Proses ini memiliki tingkat deposisi lebih tinggi dari HVOF dan plasma semprot (Talib dkk, 2003).



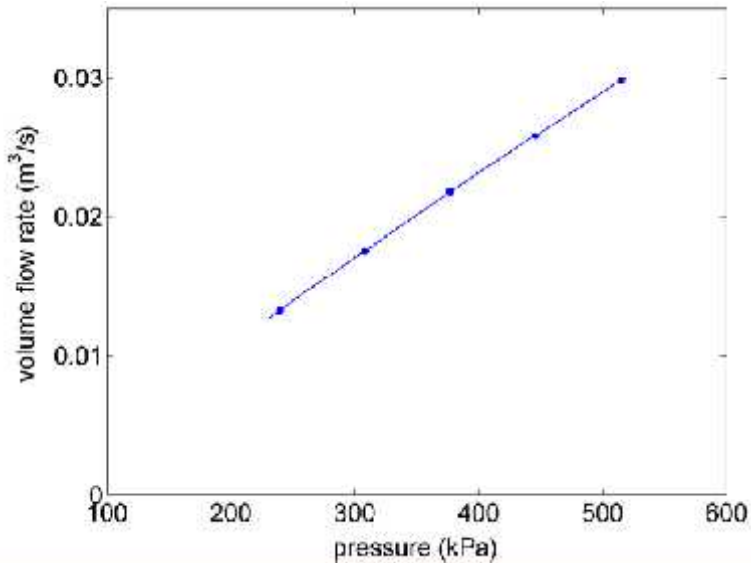
Gambar 2.5 Proses *Wire Arc Spray*

Proses pelapisan dengan metode *Wire Arc Spray* seperti pada gambar 2.5 mudah digunakan, biaya operasi lebih kecil dan dapat meningkatkan kinerja serta umur pakai komponen. Perbedaan tingkat porositas dan jumlah inklusi oksida pada hasil lapisan akhir merupakan fungsi dari kecepatan partikel cair dan lingkungan, udara dan gas *inert* yang digunakan. Secara khusus lapisan menempel dan terikat pada substrat dengan ikatan mekanik (*mechanical interlocks*) di mana permukaan substrat telah dikasarkan terlebih dahulu dengan *grit blasting*. Ikatan seperti ini disebut dengan kekuatan ikatan adhesif, sedangkan ikatan antara partikel dengan partikel yang sama disebut ikatan kohesif (Task, 2013).

Volume-flow rate dari gas atomic dan tekanannya yang diukur menggunakan eksternal flow meter (MEM Thru View, Meter Equipment Manufacturing, Inc., OH) dan tekanan terukur dipasang antara flow meter dan gun. Pengukuran ini ditampilkan pada Gambar 2.6 untuk udara sebagai gas atomic. Hal ini dapat



diamati dimana volume flowrate naik secara linier terhadap tekanan. Karena percikan busur terjadi di hilir nosel, hubungan ini tidak secara signifikan mempengaruhi oleh parameter operasi lainnya (i.e. voltage, *wfr*, wire material). (Abkenar, 2007)



Gambar 2.6 Standard Volumetric Flow-Rate of the Atomizing Gas (Dry Air) as a Function of the Upstream Pressure.

2.4 Tribologi

Tribologi adalah ilmu dan teknologi yang interdisipliner tentang interaksi permukaan dalam pergerakan relatifnya. Dengan kata lain tribologi adalah pengetahuan tentang gesekan (friction), pelumasan (lubrication) dan aus (wear). Diilhami oleh da Vinci, hukum-hukum fisika mengenai gesekan dirumuskan oleh dua ilmuwan secara terpisah yaitu Amontons (1699) dan selanjutnya



Coulomb (1751) dan disebut Hukum Gesekan Amontons-Coulomb. Hukum ini sederhana dan berisi empat butir postulat:

1. Gaya gesekan pada permukaan yang bersentuhan berbanding lurus dengan gaya tegak lurus pada permukaan tersebut.
2. Gaya gesekan tidak bergantung pada luas proyeksi permukaan yang bersentuhan.
3. Gaya gesekan tidak berhubungan dengan kecepatan sliding permukaan.
4. Gaya gesekan statis lebih besar daripada gaya gesekan dinamis

Postulat 1 dan 2, terbukti melalui penelitian (*empirically proved*) akurat untuk gesekan benda padat. Sementara itu, postulat 3 dan 4 dalam beberapa kasus tidak sesuai dengan hasil percobaan. Selama lebih dari dua ratus tahun hukum gesekan di atas (terutama hukum 1 dan 2) dipakai secara luas dan hampir semua disain alat mekanik modern menerapkan hukum ini.

Analisa tribology dilakukan untuk mengkaji aspek gesekan dan karakteristik keausan dan kontak antara permukaan. (Tarina dkk, 2012). Dari sudut pandang tribological, *grey cast iron* menguntungkan sebagai efek pelumasan kering dari fase grafit material yang dapat terjadi ketika kondisi kekurangan *oil*. Karena, fase grafit dapat bertindak sebagai *oil reservoir* yang memasok minyak saat kondisi mulai kering (Glaeser, 1992).

Ring piston dan Silinder liner saling bergesekan dan merupakan bagian paling penting dalam *Internal Combustion* (IC) mesin karena lebih dari 30% konsumsi energi di mesin IC disebabkan oleh sistem ring piston-silinder liner. Penelitian untuk mengatasi kekurangan energi dan meningkatkan efisiensi bahan bakar, penurunan gesekan dan keausan ring piston-Silinder liner telah menarik banyak peneliti menggunakan *laser surface texture* ring piston untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar. Mereka



menemukan bahwa *laser texturing* tidak mengubah komponen gas buang, tapi *laser textured piston rings* bisa mengurangi konsumsi bahan bakar sebesar 4%, dibandingkan dengan yang tidak tekstur. Namun, dalam kondisi korosif, tekstur permukaan tidak berperan dalam proteksi kontak ring piston–silinder liner, sehingga *coating* pada bagian gesekan telah dianggap sebagai metode yang efektif untuk mengurangi keausan korosif (Yubin dkk, 2017).

2.5 Keausan

Keausan (*wear*) adalah hilangnya materi dari permukaan benda padat sebagai akibat dari gerakan mekanik (Rabinowicz, 1995). Keausan umumnya dianalogikan sebagai hilangnya materi sebagai akibat interaksi mekanik dua permukaan yang bergerak *slidding* dan dibebani. Ini merupakan fenomena normal yang terjadi jika dua permukaan saling bergesekan, maka akan ada keausan atau perpindahan materi yang terjadi antara dua benda yang bergesekan. Keausan terjadi selama operasi karena adanya kontak antar dua permukaan. Untuk ketahanan aus, *coating* merupakan alternatif yang bagus untuk melindungi permukaan material saat temepartur opeasi tinggi, dan ketika waktu operasi berjalan lama (Torres dkk, 2015).

Pelapisan *electroless nickel* berdasarkan tipenya telah diaplikasikan di industri secara luas. Beberapa penelitian telah menyelidiki aplikasi berbeda dari pelapisan *electroless nickel*. Mereka meneliti bahwa *nickel coating* menaikkan sifat tribologi dan melindungi permukaan material dalam kontak mekanik. Saat penambahan, proses *coating* dapat menghasilkan sifat yang mengurangi stress, untuk memperbaiki ketahanan adhesi dan korosi. Tinjauan tentang mekanisme *coating*, meyarankan *electroless coating* sesuai untuk aplikasikan ketahanan aus dan korosi (Torres dkk, 2015).

Dikenal ada 4 jenis keausan yaitu sebagai berikut :



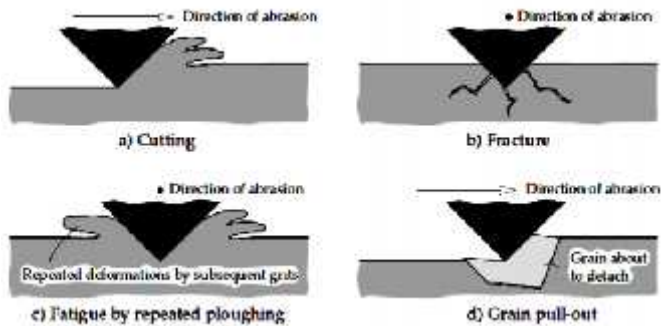
1. *Adhesive wear*

Adhesive wear adalah jenis yang paling umum, timbul apabila terdapat gaya adesif kuat diantara dua materi padat. Apabila dua permukaan ditekan bersama maka akan terjadi kontak pada bagian yang menonjol. Apabila digeser maka akan terjadi penyambungan dan jika geseran dilanjutkan akan patah. Jika patahan tidak terjadi pada saat penyambungan maka yang timbul adalah keausan dengan mekanisme seperti pada gambar 2.7.

Keausan adhesive tidak diinginkan karena dua alasan:

1. Kehilangan materi yang pada akhirnya membawa pada menurunnya unjuk kerja suatu mekanisme.
2. Pembentukan partikel keausan pada pasangan permukaan sliding yang sangat rapat dapat menyebabkan mekanisme terhambat atau bahkan macet, padahal umur peralatan masih baru.

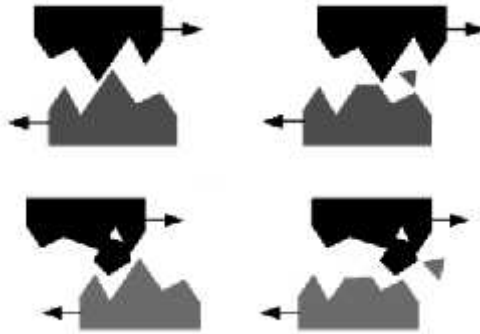
Keausan adhesi beberapa kali lebih besar pada kondisi tanpa pelumasan dibandingkan kondisi permukaan yang diberikan pelumas dengan baik. Faktor yang menyebabkan adhesive wear adalah kecenderungan dari material yang berbeda untuk membentuk larutan padat atau senyawa intermetalik dan kebersihan permukaan. Jumlah keausan melalui mekanisme adhesive ini dapat dikurangi dengan cara, antara lain yaitu menggunakan material keras atau material dengan jenis yang berbeda, misal berbeda struktur kristalnya.



Gambar 2.7 Tipe Adhesive Wear : a. Microcutting, b. Fracture, c. Fatigue d. Grain Pull-Out. (Stachowiak dan Batchelor 2001)

2. Keausan abrasi (*abrasive wear*)

Keausan abrasi (*abrasive wear*) pada gambar 2.8 terjadi apabila permukaan yang keras bergesekan dengan permukaan yang lebih lunak, meninggalkan goresan torehan pada permukaan lunak. Abrasi juga bisa disebabkan oleh patahan partikel keras yang bergeser diantara dua permukaan lunak. Fragmen abrasif yang ada dalam fluida mengalir cepat juga dapat menyebabkan tertorehnya permukaan, jika membentur permukaan pada kecepatan tinggi. Karena keausan abrasi terjadi oleh adanya partikel lebih keras dari permukaan masuk sistem, maka pencegahannya adalah dengan mengeliminasi kontaminan keras.



Gambar 2.8 Mekanisme Abrasive Wear (Stachowiak dan Batchelor, 2001)

Faktor yang berperan dalam kaitannya dengan ketahanan material terhadap abrasive wear antara lain adalah material hardness, kondisi struktur mikro, ukuran abrasi dan bentuk. Bentuk kerusakan abrasif permukaan akibat keausan abrasive, antara lain scratching, scoring dan gouging.

3. *Corrosive wear*

Keausan korosif terjadi setiap kali gas atau cairan kimia mengenai permukaan yang dibiarkan terbuka oleh proses pergeseran. Biasanya ketika permukaan produk korosi (seperti platina) cenderung tinggal di permukaan, sehingga memperlambat laju korosi. Tapi, jika pergeseran terus menerus terjadi, aksi geser menghilangkan endapan permukaan yang seharusnya melindungi terhadap korosi lebih lanjut, yang dengan demikian terjadi lebih cepat.

4. *Fatigue wear*

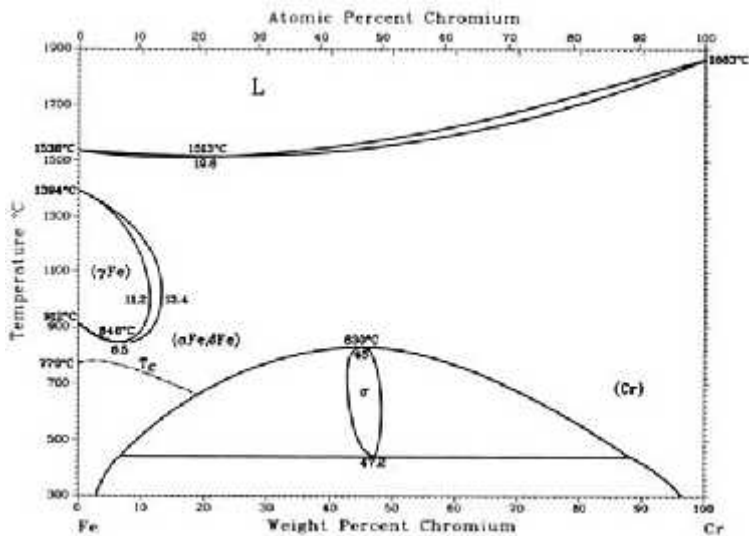
Kelelahan permukaan biasanya ditemukan pada benda yang menggunakan tekanan tinggi misalnya gerakan rolling, seperti dari roda logam pada trek atau bantalan bola bergulir di



mesin. Tekanan menyebabkan pembentukan retakan dibawah permukaan untuk baik bergerak atau komponen stasioner. Retakan ini tumbuh jika partikel besar yang terpisah dari permukaan dan kemudian terjadi pitting. Surface fatigue adalah bentuk paling umum dari keausan yang mempengaruhi elemen bergulir seperti bantalan atau gigi.

2.6 Diagram Fasa dan Coat Fe-Cr

Peningkatan sifat fisis dan mekanis permukaan material, bisa dilakukan dengan cara mechanical treatment, termo kimia, konversi atau cara coating. Teknik lapis listrik nickel, hard chrome dan nickel-hard-chrome merupakan salah satu teknik surface treatment bahan, baik untuk bahan konduktor maupun non konduktor. Selain sifat dekoratif, keuntungan teknik *surface treatment* juga bisa meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, dan ketahanan korosi (Huang dkk, 2000).



Gambar 2.9 Diagram Fasa FeCr



Banyak baja dan besi tuang komersial mengandung unsur paduan penstabil ferrit (Si, Cr, Mo, dan V) dan penstabil austenite (Mn dan Ni). Diagram fasa biner besi-kromium yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 juga masih dalam pengaruh kromium sebagai unsur penstabil ferrit. Pada temperatur solidus, struktur BCC kromium terbentuk sebagai larutan padat δ -ferrit. Pada temperatur yang lebih rendah, Fe- γ muncul dalam kondisi tertutup (*loop*) hingga sekitar 11,2% Cr. Dengan kadar karbon yang cukup, paduan besi-kromium dengan kadar 11,2% Cr dapat dikeraskan melalui perlakuan panas.

Pada temperatur rendah, larutan padat BCC dari ferrit masih ditemukan dalam bentuk α -ferrit. Dalam hal ini, α -ferrit sama strukturnya dengan δ -ferrit. Tanpa adanya karbon dan kadar kromium melebihi 13%, grade paduan ini tidak dapat dikeraskan dan termasuk dalam kategori baja tahan karat. Namun pada temperatur yang rendah, ditemukan fasa sigma yang keras, getas, dan perlu dihindari dalam baja tahan karat (*ASM Metals Handbook vol. 3. 1990*).

Berdasarkan komposisi *wire coating* dengan komposisi Fe dan Cr sebesar 64% dan 29%, memberikan kemungkinan terbentuknya fasa intermetalik (Fe-Cr fasa alfa dan Fe-Cr fasa sigma) seperti terlihat pada Gambar 2.11. Fasa intermetalik Fe-Cr tidak memiliki kekerasan sebesar *chrom bromide* dan *iron bromide*, namun berpengaruh terhadap ketangguhan lapisan *coating*, sehingga tidak mudah terkelupas saat menerima beban kejut (Yuping Wu, dkk, 2006).

2.7 Grey Cast Iron

Cast iron adalah material yang rapuh, tidak dapat digunakan untuk elemen mesin yang mengalami pembebanan kejut (*shock loaded*). Sifat-sifat yang membuatnya berharga



adalah karena harganya murah, karakteristik coran yang baik, kekuatan kompresinya lebih tinggi daripada tegangan tariknya. Variasi cast iron meliputi: *grey cast iron*, *mottled cast iron*, *White cast iron*, *malleable cast iron*, dan *alloy cast* (Gupta,1982).

Grey cast iron adalah paduan dari besi, carbon, dan silicon yang telah dilelehkan dan dituang ke cetakan untuk memberikan bentuk. Jika besi cair dibiarkan dingin biasanya karbon keluar dari larutan dan terbentuk serpihan grafit yang mana terdapat pada matriks ferrite/perlit. *Grey cast iron* mempunyai carbon lebih banyak daripada yang dipertahankan dalam larutan padat austenik di temperatur eutektik. Konstituen utama dari dari besi cor kelabu adalah carbon 1,7%-4,5%, dan silikon 1-3%. Presipitasi karbon terbentuk sebagai serpihan grafit atau karbida selama solidifikasi; grafit berkembang saat solidifikasi berlangsung, memberikan ketajaman, bentuk coran yang baik, sehingga meningkatkan maksimum *machineability*, tetapi mengurangi ketangguhan daripada *grey cast iron*. Selain itu, grafit juga berperan sebagai pelumas, meningkatkan ketahanan aus. Disisi lain, kehadiran di dalam *grey cast iron* menghasilkan kekerasan dan kerapuhan yang tinggi.

Grey cast iron merupakan besi cor yang paling banyak digunakan dalam industri. Grafit pada besi cor kelabu terbentuk pada saat pembekuan. Proses grafitisasi ini didorong oleh tingginya kadar karbon, adanya unsur grafit stabilizer, terutama silikon, Ti, Ni, Al, Co, Au, Pt, temperatur penuangan tinggi dan pendinginan yang lambat (Suardia, 1995).

Piston bergerak cepat bolak balik di dalam silinder liner dibawah tekanan pembakaran. Dinding silinder memandu gerak piston, menerima tekanan pembakaran, dan menyalurkan panas pembakaran ke bagian luarnya. Daya sebuah motor biasanya dinyatakan oleh besarnya isi silinder tertentu. Permasalahan yang sering dijumpai pada silinder liner ini adalah ketahanan terhadap gesekan yang kurang baik sehingga mempengaruhi lama waktu



penggunaan silinder liner tersebut. Bahan dari silinder liner biasanya dibuat dari besi tuang kelabu (Tjahjono, 2005).

Tabel 2.2 Komposisi material *cylinder liner* (Ting, 1980).

Type	Composition,wt% (balance iron)								Ultimate tensile strength		Hardness, HB	Microstructure
	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Other	Mpa	ksi		
Sand-cast block and barrels	3.3	2.1	0.1	0.15	0.6	0.3	0.2		220	32	200	Flake graphite, pearlite matrix, no free carbides.
San-cast liners	3.3	1.8	0.1	0.25	0.8		0.4		230	33	220	Phosphide eutectic network increase with phosphorus content. Minimum of free ferrite to minimize scuffing, but less important with increasing phosphide
Centrifugal gray cast liners	3.4	2.3	0.06	0.5	0.8		0.4		260	38	250	As for sand cast, but finer graphite tending toward rosette or undercooled. Matrix martensitic/bainitic if liner is hardened and tempered



Centrifugal cast alloy liners	3.1	2.3	0.06	0.3	0.8		0.8	0.3 V or 1.0 Mo	320	46	280	Compact graphite. Pearlite matrix with islands of alloy carbides. Ternary eutectic phosphide with carbides. Minimum of free ferrite ideal but not important in presence of carbide
Austenitic iron liners	2.9	2.0	0.6	0.3	0.8	14.0	2.0	7.0 Cu	190	28	180	Fine flake graphite with some undercooled graphite. Fine grained cored austenite matrix. complex carbide and ternary phosphide eutectic in broken network

2.8 Karakteristik *Thermal Spray Coating*

Deposit ketebalan dari semprotan berkisar 0,05mm dan 2,5mm. Thermal Spray Coating meningkatkan kekerasan secara signifikan dibandingkan dengan substratnya dan menampilkan ketahanan aus yang superior, tetapi menurunkan keuletan dan kekuatan tarik. Thermal Spray untuk tujuan ketahanan aus diaplikasikan dengan ketebalan 75-380µm dan sering

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



membutuhkan surface finishing dengan kekasaran rata-rata 0,1-1,6 μ m. Ketika ketebalan yang lebih besar diperlukan untuk design dimensi tertentu, komponen dicoating dengan nickel based (i.e., alloys 718,625, NiCrMo, or NiCrAl) atau iron based coating untuk menambah tujuan tertentu (Handbook of Thermal Spray Technology, 2005).

Electric arc spray juga menawarkan kelebihan jika dibandingkan dengan flame spray, yaitu kekuatan ikatan yang tinggi (ASM Handbook,1994).

Tabel 2.3 Perbandingan Metode Proses Pelapisan

Characteristics	Coating type	Combustion powder	HVOF	Electric arc wire	Plasma
Oxidation resistance	[Fe]	2000	7000-8000	1000-1500	1000-1500
	[Ni]	2000	1000-1500	2000-2500	2000-2500
Wear resistance	[Fe-Ni]	2-10	1-5	10-20	2-10
	[Fe]	4-10	1-10	20-30	1-5-20
Fatigue resistance	[Fe-Ni]	2-10	2-10	10	2-10
	[Fe]	1-10	1-10	1-10	1-10
Hardness	[Fe-Ni]	4-10	40-60	20-40	2-10
	[Fe]	2000-3000	7000-8000	1000-1500	1000-1500
	[Fe-Ni]	Nonferrous alloys	1-10	10-20	10-20
	[Fe]	2000-3000	7000-8000	1000-1500	1000-1500
	[Fe-Ni]	Self-fluxing alloys	70-80	10-20	—
	[Fe]	2000-3000	7000-8000	1000-1500	1000-1500
	[Fe-Ni]	Coatings	1-10	—	2-10
	[Fe]	4000-5000	—	—	1000-1500
	[Fe-Ni]	Coatings	10-20	—	10-20
	[Fe]	2000-3000	7000-8000	1000-1500	1000-1500
Coating thickness	[Fe-Ni]	Fe-Co alloys	0.05-2.0	0.05-0.5	0.05-0.5
	[Fe]	Nonferrous alloys	0.05-1.0	0.05-0.1	0.05-0.1
	[Fe-Ni]	Nonferrous alloys	0.05-0.5	0.05-0.1	0.05-0.1
	[Fe]	Self-fluxing alloys	0.05-1.0	0.05-0.1	0.05-0.1
	[Fe-Ni]	Coatings	0.05-0.5	—	—
	[Fe]	Coatings	0.05-0.5	—	0.05-0.5
	[Fe-Ni]	Coatings	0.05-0.5	—	0.05-0.5
	[Fe]	Coatings	0.05-0.5	—	0.05-0.5
	[Fe-Ni]	Coatings	0.05-0.5	—	0.05-0.5
	[Fe]	Coatings	0.05-0.5	—	0.05-0.5
Adhesion (ASTM D4139, 4280)	[Fe-Ni]	Fe-Co alloys	80	40	40
	[Fe]	Nonferrous alloys	40	40	40
	[Fe-Ni]	Self-fluxing alloys	80-90	30-40	30-40
	[Fe]	Coatings	40-60	—	40-60
	[Fe-Ni]	Coatings	40-60	50-70	40-60
Velocity	[Fe]	Nonferrous alloys	1-10	1-10	1-10
	[Fe-Ni]	Nonferrous alloys	1-10	1-10	1-10
	[Fe]	Self-fluxing alloys	1-10	—	—
	[Fe-Ni]	Coatings	1-10	—	1-10



2.9 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan penelitian dari Fitrianova Larasati pada tahun 2009 yang menggunakan material pelapisan Ni-20Cr dengan metode *wire arc spray*, menunjukkan bahwa pengaruh jarak *nozzle* dan tekanan gas pada 300 mm dan 4 bar menunjukkan stabilitas termal yang baik pada temperatur 25-945°C, dikarenakan pada jarak dan tekanan ini oleh hasil *coating* dengan jarak dan tekanan ini memiliki nilai porositas terkecil yaitu sebesar 3.177 μm , sehingga memiliki daya lekat sebesar 14 MPa dan ukuran kekasaran sebesar 4.64 μm (Fitrianova, 2009).

Penelitian berikutnya mempelajari pengaruh lapisan Ni-Cr terhadap kekerasan dan ketahanan aus. Hasil observasi menunjukkan bahwa setelah dilakukan pelapisan dengan teknik powder flame spray coating menggunakan bahan pelapis Ni-Cr menghasilkan kekerasan permukaan yang cukup signifikan dibandingkan dengan tanpa pelapisan yaitu sebesar 536 HV dengan pelapisan dan 206 HV tanpa pelapisan. Distribusi kekerasan pada posisi cross-section hasil pelapisan menunjukkan kekerasan rata-rata sebesar 536 HV mengingat material pelapis, proses, dan teknik adalah sama. Volume keausan benda uji yang dilapiskan menunjukkan nilai sebesar $12,5 \times 10^{-3}$ dibandingkan dengan tanpa pelapisan sebesar $67,5 \times 10^{-3}$ (Arthana, 2014).

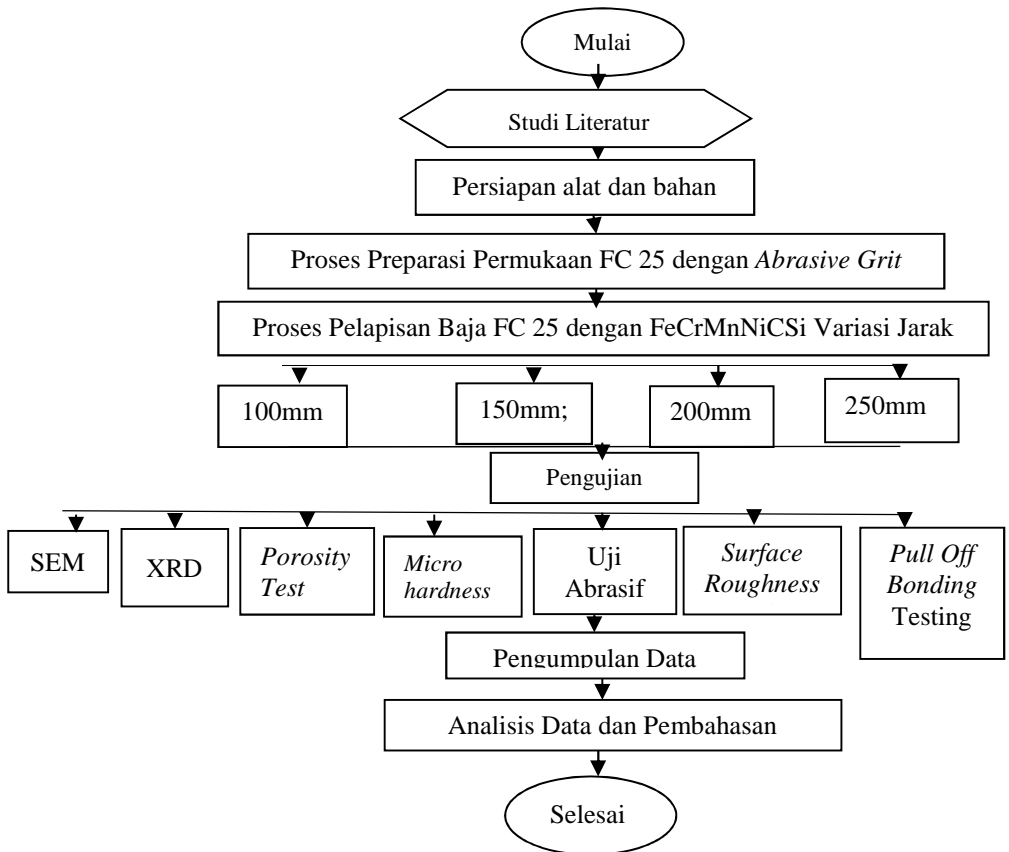


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Rancangan Penelitian

Tabel 3.1 Rancangan Pengujian Spesimen

Variabel jarak (mm)	Spesimen	SEM	DFT	XRD	Abrasive Test	Pull Off Test	Roughness Test	Porosity test
100	A	√	√	√	√	√	√	√
	A	-	√	-	√	√	-	√
	A	-	√	-	√	√	-	√
150	B	√	√	-	√	√	√	√
	B	-	√	-	√	√	-	√
	B	-	√	-	√	√	-	√
200	C	√	√	-	√	√	√	√
	C	-	√	-	√	√	-	√
	C	-	√	-	√	√	-	√
250	D	√	√	-	√	√	√	√
	D	-	√	-	√	√	-	√
	D	-	√	-	√	√	-	√

3.3 Metode Perancangan

Metode yang dilakukan pada perancangan penelitian ini antara lain :

1. Studi Literatur

Metode ini mengacu pada buku-buku dan jurnal-jurnal, informasi dan penelitian situs industri yang mempelajari mengenai permasalahan korosi, pengaruh tekanan gas dan



jarak *nozzle* pada pelapisan *FeCrMnNiCSi coating*, dengan metode *Thermal wire arc spray*.

2. Diskusi

Pada tahapan ini dilakukan untuk menambah wawasan tambahan agar penulis dapat lebih memahami tentang masalah dan solusi penelitian yang dilakukan. Diskusi ini dilakukan dengan dosen pembimbing atau dosen mata kuliah terkait.

3. Eksperimental

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu SEM, XRD, Uji kekasaran permukaan, *Abrasive Wear Resistance Test*, *Porosity Test* dan *Pull Off Bonding Testing*.

3.4 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Besi Cor Kelabu *FC 25*

Digunakan sebagai material yang diberi perlakuan atau *substrate* yang akan diberikan proteksi berupa pelapisan permukaan, komposisi besi cor kelabu FC 25 sebagai berikut:



Tabel 3.2 Komposisi Kimia FC 25 (PT. SURYA LOGAM UNIVERSAL, 2017)

Komposisi	Wt %
C	3,0-3,7
Si	2,2-2,9
Mn	0,2-0,7
Cu	Max 0,3
P	Max 0,1
Ni	Max 0,08
Cr	Max 0,08
Ti	Max 0,05
Al	Max 0,01
Fe	Balance

Tabel 3.3 Propertis Mekanik FC 25 (PT. SURYA LOGAM UNIVERSAL, 2017)

Properties	Nilai
Tensile Strength (MPa)	Min. 216
Hardness (HB)	229



2. *Brown Aluminum Oxide (Al₂O₃)*

Aluminum oxide 24 mesh digunakan sebagai *abrasive grit blasting* permukaan yang akan *dicoating*, berfungsi untuk membersihkan permukaan dan membuat permukaan menjadi kasar.

Tabel 3.4 Komposisi Kimia *Brown Aluminum Oxide* (Pearl International Material Safety Data Sheet, 2004)

Komposisi	Wt.%
Aluminum Oxide (Al ₂ O ₃)	96.69%
Titanium Dioxide (TiO ₂)	2.52%
Silicon Dioxide (SiO ₂)	0.44%
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	0.10%
Others (MgO, CaO, Cr ₂ O ₃)	0,25%

Tabel 3.5 Propertis *Brown Aluminum Oxide* (Pearl International Material Safety Data Sheet, 2004)

Crystal Form	Alpha-Alumina
True Density	3.95 gr/cm ³
Hardness	Knoop (100) 2050 kg/mm
Melting Point	2000°C
Colour	Brown-Tan



4. *FeCrMnNiCSi Coat*

Tabel 3.6 Komposisi Kimia Metcoloy 2 (Oerlicon Metco Material Safety Data Sheet, 2016)

Komposisi	Wt%
Fe	Balance
Cr	13
Ni	0,5
Mn	0,5
C	0,35
Si	0,25

Tabel 3.7 Properties Wire Coat Metcoloy 2 (Oerlicon Metco Material Safety Data Sheet, 2016)

Properties	Nilai
Klasifikasi	Alloy, Fe based
Morfologi	Spheroidal or irregular
Wire size	1.6 mm
Apparent density	3.1-4.6 g/cm ³
Melting point	1400°C (2550°F)
Service temperature	1000°C (1830°)

4. *Lem Araldite*

Lem ini berfungsi sebagai perekat antara pin dengan spesimen yang akan diuji *pull off test*. Lem *araldite* yang berwarna biru digunakan sebagai *hardener*, sedangkan yang berwarna putih digunakan sebagai resin.

3.5 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Mesin Gergaji Pita
2. Peralatan *Abrasive Grit Blasting*
3. Mesin *Arc Spray*



4. Alat Uji Kekasaran Permukaan
5. Mesin Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)
6. Mesin Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)
7. Alat Uji Keausan Abrasif
8. Alat Uji *Pull Off Bonding*
9. Alat Uji Micro Hardness

3.6 Prosedur Penelitian

Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan maka dalam penelitian ini dilakukan tahapan-tahapan sebagai berikut :

3.6.1 Preparasi Spesimen FC 25

1. Pemotongan spesimen *round bar* FC 25 sebanyak 18 buah dengan ukuran diameter 45mm dan ketebalan 4 mm menggunakan gergaji mesin.
2. Sebelum proses pelapisan, permukaan substrat dilakukan *abrasive grit blasting* untuk membuat permukaan menjadi kasar menggunakan *aluminum oxide 24 mesh* dengan tekanan sebesar 7 bar dan jarak *nozzle* 100 mm. Dalam penelitian ini peralatan *abrasive grit blasting* yang digunakan untuk mengasarkkan permukaan dari spesimen uji. Menggunakan jenis mesin *automatic* dengan merk dagang NORBLAST by Norexco dengan tipe NOB35CE. Adapun spesifikasi peralatan dapat dilihat pada Tabel 3.8.



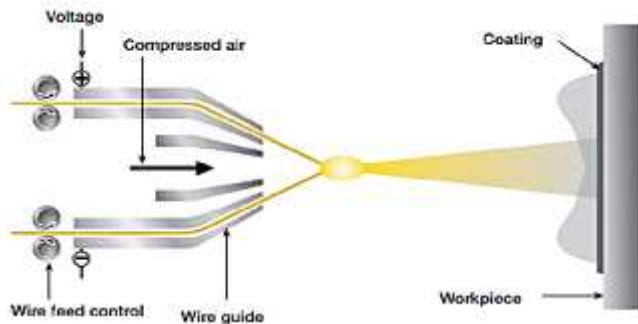
Gambar 3.2 Mesin *Sand Blasting*



Tabel 3.8 Spesifikasi Peralatan *Abrasive Grit Blasting* Tipe NOB35CE (NORBLAST by Norex Specification Datasheet, 2015)

Spesifikasi	Keterangan
<i>Capacity</i>	35 Liters
<i>Pipe Work</i>	½"
<i>Grit Blasting house dia</i>	13 mm
<i>Remote control handle</i>	Pneumatic
<i>Hose length</i>	10 m
<i>Connector Nozzle</i>	½" threaded
<i>Filter</i>	Vortex Air Conditionig
<i>Hose Nozzle (As Required)</i>	3/8" (9 mm)
<i>Pressure (for steel)</i>	7 Bar
<i>Required air for nozzle 3/8</i>	5 m ³ min/200 cfm
<i>Required Abrasive</i>	478 kg/hour
<i>Required H.P</i>	39

3.6.2 Proses Pelapisan



Gambar 3.3 Proses Pelapisan *Wire Arc Spray* (Sulzer Metco,2013)



Setelah melakukan *surface preparation* dengan *abrasive grit blasting*. Melakukan spray alat peapisp seperti Gambar 3.3 dengan material coat wire FeCrMnNiCSi Metco 8450 dengan:

1. Tekanan gas : 4,5 bar
2. Jarak *nozzle* : 100mm, 150mm, 200 mm, 250mm
3. Sudut *nozzle* : 90°
4. Arus listrik : 145Ampere
5. Voltase : 26,7Volts

Proses *wire arc spray* menggunakan 2 wire satu disebelah kiri dan yang lain di sebelah kanan,wire FeCrMnNiCSi pertama dialiri oleh arus positif, sedangkan FeCrMnNiCSi wire kedua dialiri oleh arus negatif, yang menyebabkan kedua *wire* menimbulkan percikan dan melelehkan FeCrMnNiCSi di dalam *spray gun* yang. Setelah itu, lelehan FeCrMnNiCSi diberikan udara bertekanan yang mengakibatkan percikan (*splats*) FeCrMnNiCSi terlempar dari *spray gun* dan terdeposisi di permukaan substrat besi cor kelabu FC25.

Mesin yang digunakan untuk melakukan *spraying* FeCrMnNiCSi wire adalah TAFA 9000 *Electrical Wire-Arc Spraying Machine*. Adapun spesifikasi lengkap dari mesin tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.9.



Tabel 3.9 Spesifikasi Mesin Aplikasi Arc Spray (Praxair TAFA, 2012)

Spesifikasi	Keterangan
<i>Input Ampere</i>	< 23 A
<i>Input Voltage</i>	200 V
<i>Input Frequency</i>	50 - 60 Hz
<i>Output Ampere</i>	100 – 125 A
<i>Output Voltage</i>	18 – 30 V
<i>Duty cycle (at full Ampere)</i>	100%
<i>Cooling</i>	Ambient Air
<i>Atomizer Air</i>	3 – 4 Bar
<i>Size Wire</i>	1,6 – 2,5 mm
<i>Feed Speed</i>	Depend on material Max. 40 kg/h for Tin
<i>Wire Feed Pressure</i>	2 Bar

3.6.3 Proses Pengujian dan Analisis

Pada tahapan ini akan dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang sesuai dengan tujuan dari penelitian. Kemudian dilakukan analisis dari data yang sudah didapat untuk memperoleh karakteristik dari masing-masing spesimen. Pengujian yang dimaksud antara lain :



1. Uji Kekasaran Permukaan



Gambar 3.4 Alat Uji Kekasaran

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan sampel yang telah *dicoating*. Pengujian ini menggunakan 4 sample dengan ukuran 4.5 cm x 4.5 cm. Pengujian ini menggunakan alat uji *surface roughness tester* SJ-301 user's manual Mitutoyu seperti Gambar 3.4 dengan standard JIS20 (dalam satuan mikro meter).

Mekanisme kerja *surface roughness tester* ini menggunakan *stylus traces* pada permukaan spesimen. *Stylus traces* ini berfungsi untuk mengukur kekasaran permukaan benda yang disentuh, *stylus trace* akan melakukan pengukuran sepanjang permukaan benda uji. Hasil yang didapat akan berupa angka secara kuantitatif yang menunjukkan kekasaran permukaan spesimen.



2. Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)



Gambar 3.5 Alat Uji SEM

Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menggunakan mesin merek FEI Inspect S-50 Gambar 3.5. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan ketebalan lapisan dari penampang substrat setelah mengalami proses *abrasive grit blasting*, dan kemudian dilapisi dengan material *coat* FeCrMnNiCSi .

❖ Mekanisme pengamatan SEM :

1. Menyiapkan sampel yang akan diamati, yaitu 6 sampel setelah proses pelapisan.
2. Meratakan permukaan *cross section* yang akan diamati SEM dengan menggunakan kertas amplas.
3. Merekatkan sampel yang akan diuji dengan menggunakan selotip karbon pada tempat sampel, hal ini dilakukan agar ketika pengamatan sampel tidak akan tergelincir saat proses *vacuum*.
4. Memasukkan sampel ke dalam alat pengujian SEM.
5. Mengamati hasil gambar dari sampel dengan mencari lokasi dan ukuran yang diinginkan.
6. Mengambil gambar yang diinginkan setelah ditemukan yang sesuai.



3. Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)



Gambar 3.6 Alat Uji XRD

X-Ray Difrraction adalah digunakan untuk mengetahui unsur dan senyawa yang terbentuk substrat dan hasil *coating*. Data hasil XRD berupa grafik dengan puncak internsitas terhadap 2θ . Data XRD ini digunakan untuk perhitungan komposisi unsur dan senyawa. Pengujian XRD ini menggunakan alat merk Xper pro panlythical.

❖ Mekanisme Pengamatan XRD :

1. X-Ray (sinar X) di tembakkan dari *X-Ray source* ke sampel.
2. Hasil dari tembakan akan dipantulkan menuju *X-Ray detector* untuk dikonversikan dalam bentuk kurva agar dapat dianalisis.

4. Pengujian *Microhardness Vickers*



Gambar 3.7 Alat *MicroHardness*



Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan fasa pada lapisan *coating*. Berikut prosedur pengujiannya :

1. Meletakkan sampel (material) pada landasan.
2. Mikroskop difokuskan melalui pengatur kasar.
3. Area penjajakan pada sampel ditentukan dengan memutar spindel mikrometer.
4. Memberi beban sebesar 500 gf terhadap permukaan sampel selama 30 detik.
5. Mengukur diameter jejak arah horisontal (d1) dan diameter jejak arah vertikal (d2).
6. Nilai kekerasan secara otomatis muncul pada layar monitor.

7. Pengujian Keausan Abrasif



Gambar 3.8 Alat Uji Abrasif

Pengujian *Abrasive wear resistance* dilakukan untuk mengetahui ketahanan aus dari spesimen yang telah dicoating dengan alat seperti Gambar 3.8. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode *rotation disc* mengacu pada prinsip JIS H-8503 *Methods of Wear Resistance Test for Metallic Coating*. Prinsip kerja dari pengujian adalah dengan menggesekkan *spesimen* dengan



material abrasif, sesuai dengan prinsip kerja dari *cylinder liner* dan ring piston tersebut. Untuk mnghitung ketahanan abrasif digunakan rumus:

$$W = N: (w1 - w2) \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan:

WR= Wear Resistance (times/mg)

w1=massa sebelum diuji (mg)

w2=massa setelah diuji (mg)

N= banyaknya rotasi dalam sekali uji (times)

❖ Mekanisme pengujian keausan:

1. Memasang spesimen uji pada pemegang spesimen dengan posisi tegak lurus terhadap permukaan specimen dengan posisi tegak lurus terhadap permukaan datar piringan.
2. Memasang beban sebagai gaya penekan specimen, dengan besarnya beban yang konstan.
3. Menghidupkan saklar power dari alat uji.
4. Mengembalikan saklar motor penggerak piringan pada posisi off.
5. Melepaskan beban penekan spesimen.
6. Melepaskan specimen dan dibersihkan, kemudian ditimbang kembali untuk mengetahui massa yang hilang setelah pengujian.
7. Mengulang kembali prosedur diatas untuk pengujian selanjutnya.
8. Data di hitung menggunakan rumus (3.1).



8. Pengujian *Pull Off Bonding*



Gambar 3.9 Alat Uji *Pull Off Bonding*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui daya lekat *coating* terhadap substratnya dengan alat seperti gambar 3.9.. Pengujian ini menggunakan lem *Araldite* yang berfungsi sebagai perekat antara pin dengan spesimen yang akan diuji. Pengujian akan berhenti ketika lem sudah terlepas dari specimen, dengan menarik sebagian permukaan *coating*. Nilai dari kelekatan akan ditunjukkan dari alat dalam satuan MPa.

❖ Mekanisme pengujian *pull off bonding* :

1. Pin atau *holder* dipusatkan pada permukaan *coating* dengan bagian pembebanan.
2. Memutar roda pegangan searah jarum jam kemudian menurunkan grip sehingga grip berada dibawah bagian pembebanan.
3. menyejajarkan ketiga alas pemutar dari tripod sehingga alat tersebut akan menarik permukaan *coating* secara tegak lurus pada cincin *bearing*.
4. Mengubah indikator gaya pada tester ke posisi nol.
5. Memeberikan Beban tarik pada bagian pembebanan kemudian meambah beban hingga maksimum atau hingga sistem tersebut putus. Skala peralatan menunjukkan tegangan langsung dalam satuan MPa.



6. Mencatat nilai tertinggi yang didapatkan dengan membaca angka sepanjang indikator penarikan.

9. Pengujian *Apparent Porosity*

Perhitungan *apparent porosity* dilakukan untuk mengetahui persentase porositas lapisan coating FeCrMnNiCSi. Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Porositas suatu bahan pada umumnya dinyatakan sebagai porositas terbuka atau *apparent porosity*, dan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$AP = \frac{W-U}{W-S} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana:

W : Berat kering di udara (gram)

D : Berat awal (gram)

S : Berat basah dalam air (gram)

Untuk mengetahui nilai porositas, maka pertama kali dilakukan pengujian densitas. Pengujian densitas menggunakan neraca digital. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian densitas adalah :

1. Menyiapkan spesimen setelah di lakukan pelapisan.
2. Mengkalibrasi neraca digital supaya tepat dititik nol.
3. Menimbang spesimen kering dan di ulangi penimbangan sampai tiga kali untuk memperoleh massa rata-rata.
4. Setelah di dapatkan berat spesimen kering kemudian memasukkan spesimen kering kedalam air dan menimbang dengan neraca digital.
5. Mengulangi penimbangan di dalam air sampai tiga kali untuk memperoleh massa rata-rata.



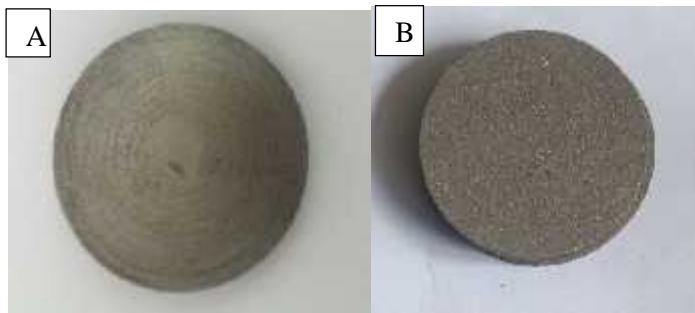
6. Data yang telah didapatkan kemudian dihitung menggunakan rumus (3.2).

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Sampel dan Proses Pelapisan

Pada proses pelapisan *Wire Arc Spray* dilakukan preparasi spesimen sebelum pelapisan berupa *Abrasive Grit Blasting* dengan tujuan membersihkan permukaan substrat dari pengotor dan untuk memberikan kekasaran pada substrat menggunakan *aluminium oxide 24 mesh* agar didapatkan kelekatan hasil coating yang baik.



Gambar 4.1 Permukaan *Grey Cast Iron FC25* (a)Sebelum dan (b)Setelah dilakukan *Abrasive Grit Blasting*

Gambar 4.1 menunjukkan hasil proses abrasive grit blasting memiliki warna abu-abu. Permukaan spesimen yang telah dilakukan abrasive grit blasting memiliki bentuk yang lebih kasar. Semakin kasar permukaan mengakibatkan ikatan interlocking yang terbentuk meningkat (Pawlowski,2008).

Nilai hasil pengujian kekasaran permukaan yang dilakukan pada permukaan material substrat FC25 sebelum proses abrasive sand blasting adalah $31,375\mu\text{m}$, sedangkan setelah dilakukan proses abrasive grit blasting adalah $109,6\mu\text{m}$. Hal ini



menunjukkan bahwa setelah melakukan *abrasive sand blasting* nilai kekasaran dari permukaan substrat meningkat.

Setelah melakukan proses *abrasive grit blasting* dilanjutkan dengan proses pelapisan *FeCrMnNiCSi* menggunakan tekanan 4,5 bar dan variasi jarak *spray*. Jarak *spray* yang digunakan adalah 100 mm, 150 mm, 200 mm, dan 250 mm.

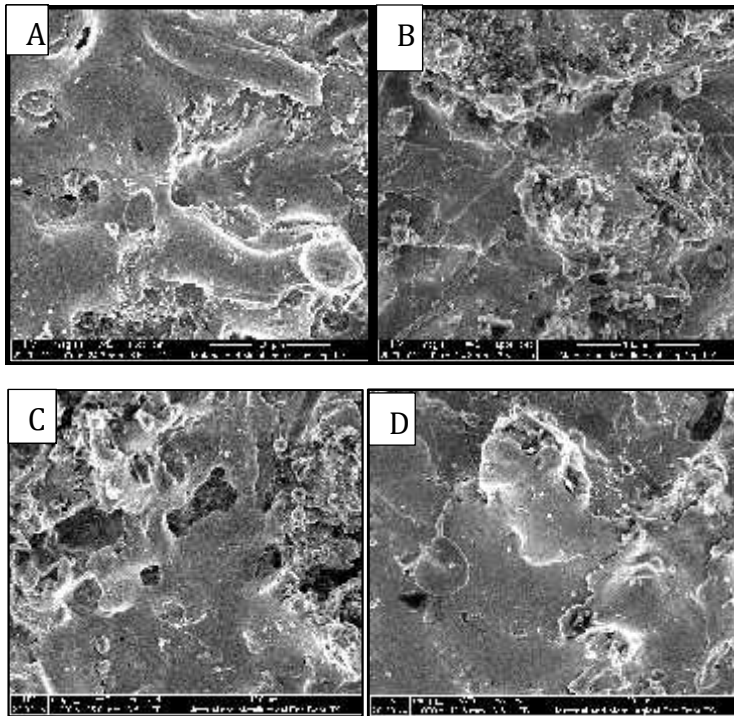
4.2 Hasil Analisis Pengujian SEM/EDS (*Scanning Electron Microscope/ Energy Dispesion Spectroscopy*)

4.2.1 Morfologi Permukaan Lapisan *Coating*

Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran 1000x pada permukaan hasil *coating* digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan pada variasi jarak *spray* 100mm, 150mm, 200mm dan 250mm.

Pada Gambar 4.2 (a) menunjukkan permukaan yang paling kasar karena terlihat adanya partikel-partikel dengan butir yang tidak tersolidifikasi secara sempurna berukuran besar. Gambar 4.2 (b) memperlihatkan kondisi yang lebih baik daripada (a) karena partikel yang dihasilkan berukuran lebih kecil sehingga permukaan yang dihasilkan lebih halus. Semakin bertambahnya jarak *spray* ukuran partikel yang terbentuk pada permukaan semakin halus seperti pada gambar (c) sehingga tampak permukaan paling halus pada gambar (d) karena menghasilkan partikel paling halus.

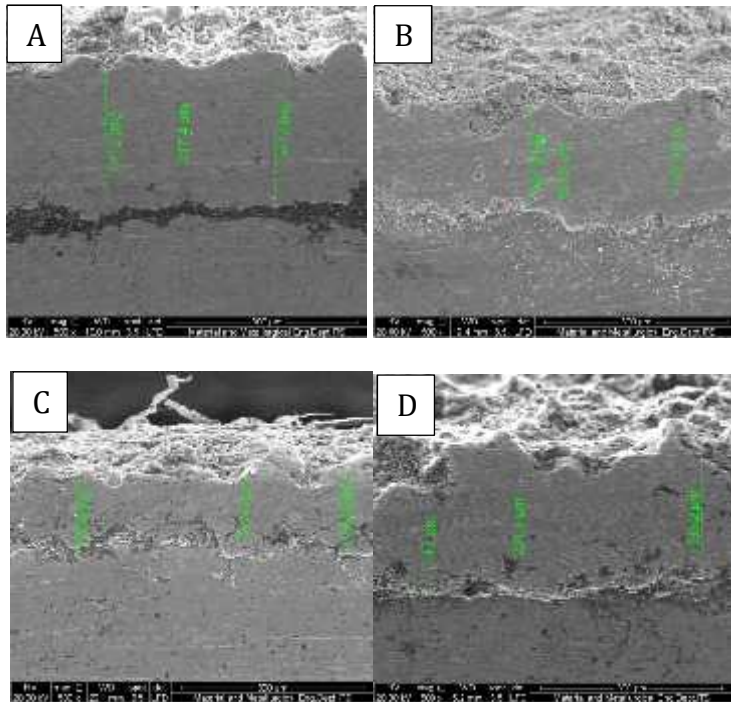
Partikel yang besar cenderung membentuk *droplet* dalam ukuran besar dengan tingkat volume yang partikel yang meleleh rendah atau meleleh sebagian (Sobolev, 1997). Semakin dekat jarak *nozzle* yang digunakan menghasilkan permukaan yang kurang rata dan halus. Hal ini disebabkan karena partikel-partikel belum meleleh secara sempurna, sehingga ketika mencapai permukaan substrat bentuk partikel tersebut masih bulat. Bulatnya bentuk partikel bisa menghasilkan rongga pada permukaan hasil *coating* sehingga nilai kekasaran dan porositasnya akan semakin besar (Ozkan, 2005).



Gambar 4.2 Morfologi Permukaan Coating Hasil SEM Perbesaran 1000x dengan Jarak Spray (a)100mm, (b)150mm, (c)200mm, dan (d)250mm

4.2.2 Morfologi Penampang Lintang dan Ketebalan Lapisan *Coating*

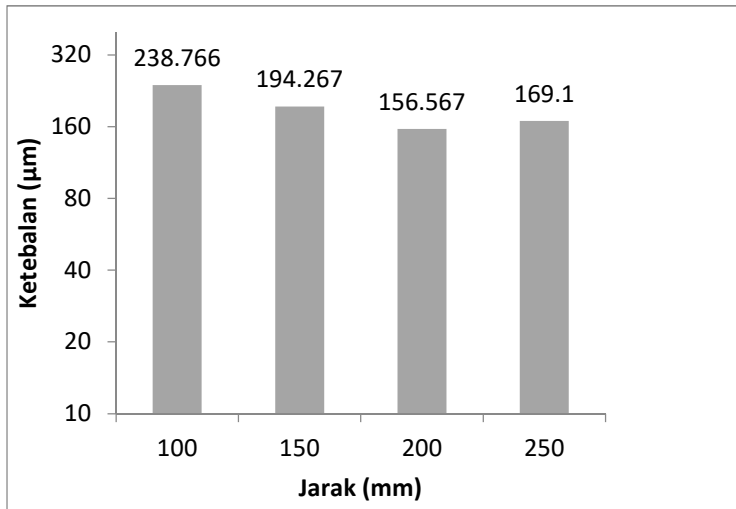
Analisis ketebalan coating ditinjau dari *cross section* spesimen agar terlihat batas antara substrat dan *coating*. Pada Gambar 4.3 memperlihatkan ketebalan coating yang ditinjau dengan SEM perbesaran 500x dengan variasi jarak spray



Gambar 4.3 Ketebalan *coating* dengan perbesaran SEM 500x

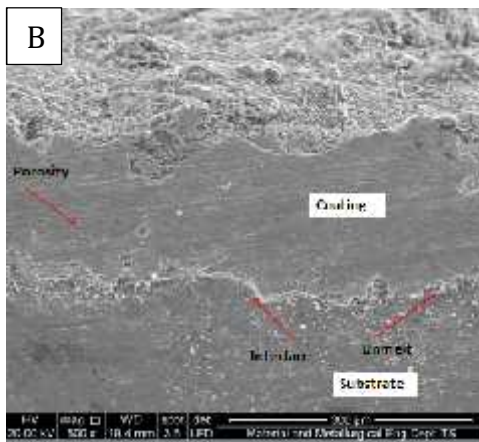
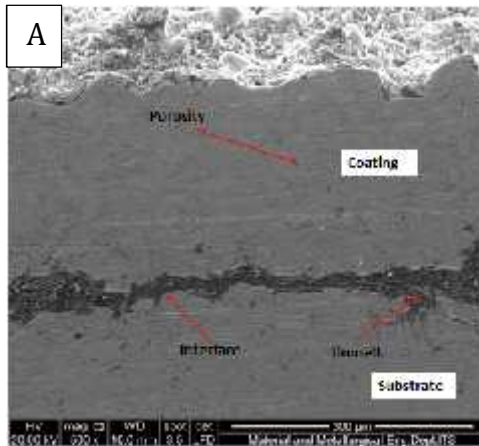
Tabel 4.1 Ketebalan *Coating* dengan Variasi Jarak *Spray*

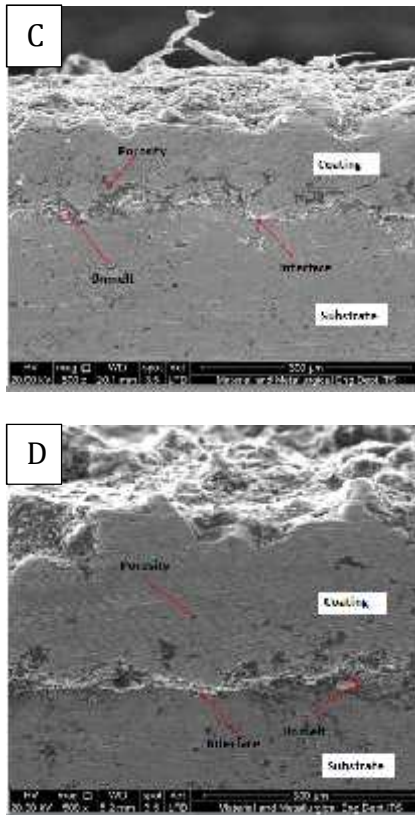
Jarak (mm)	Ketebalan (μm)
100	238,766
150	194,267
200	156,567
250	169,100



Gambar 4.4 Data Hasil Ketebalan Lapisan Coating

Ketebalan surface yang tidak uniform seperti Gambar 4.3, perlu dilakukan pengukuran dengan menarik 3 garis dari interface sampai permukaan coating sehingga didapatkan rata-rata nilai ketebalan *coating* setiap variasi jarak *spray*. Dapat dilihat dari tabel 4.1 bahwa ketebalan tertinggi pada variasi jarak yaitu 100mm sebesar 238,766 μm karena dengan kecepatan tinggi dan jarak yang relatif dekat banyak droplet yang mengenai substrat dibandingkan variasi jarak spray lainnya, namun Gambar 4.4 memperlihatkan pada jarak spray 200mm justru nilai ketebalan lebih rendah dibandingkan variasi jarak spray 250mm hal tersebut dikarenakan pada variasi jarak spray terjauh partikel telah tersolidifikasi terlebih dahulu menyebabkan bentuk *droplet* yang bulat sehingga ketebalannya bertambah tinggi.





Gambar 4.5 Cross Section Spesimen hasil *coating* Jarak Spray (a)100mm, (b)150mm, (c)200mm, dan (d)250mm

Berdasarkan hasil pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada Gambar 4.5 terlihat morfologi penampang melintang hasil *coating* dengan perbesaran 500x dengan variasi jarak *spray* 100 mm, 150mm, 200mm, dan 250mm. Dapat dilihat bahwa tiap variasi jarak *spray* terdapat titik gelap yang telah ditandai sebagai porositas. Pada proses *thermal spray* terdapat beberapa penyebab terbentuknya porositas. (1) Terdapat oksigen yang terjebak pada



lapisan *coating* dikarenakan jarak *spraying* yang terlalu jauh, menyebabkan oksida terbentuk secara prematur sebelum mencapai permukaan substrat, menyebabkan terbentuknya material *unmelt* dan cenderung diikuti porositas. (2) Tumpukkan *lamellar* tipis yang menyusun *coating* pada setiap ujung dari *droplet* yang tipis membuat terbentuknya porositas (Pawlowski, 2008).

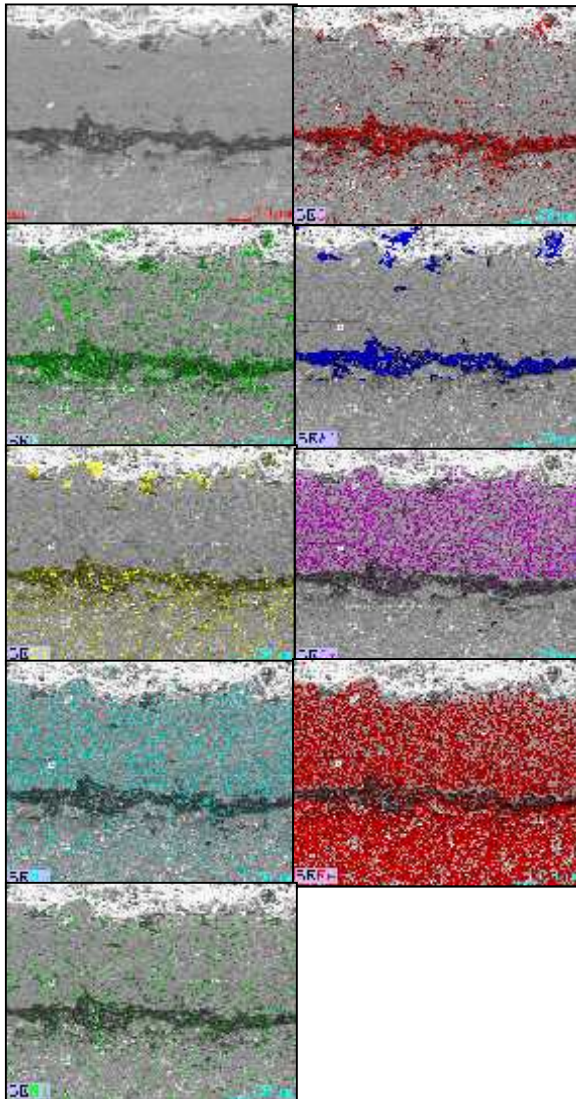
Bagian interface memperlihatkan beberapa daerah *unmelt* yang sebagian besar berada di interface antara substrat dan *coating*. Bagian *interface* B, C, D Gambar 4.5 terlihat batas yang tidak lurus dikarenakan adanya material *coating* yang meleleh hingga samping substrat.

4.2.3 Pengujian EDS (*Energy Dispersion Spectroscopy*)

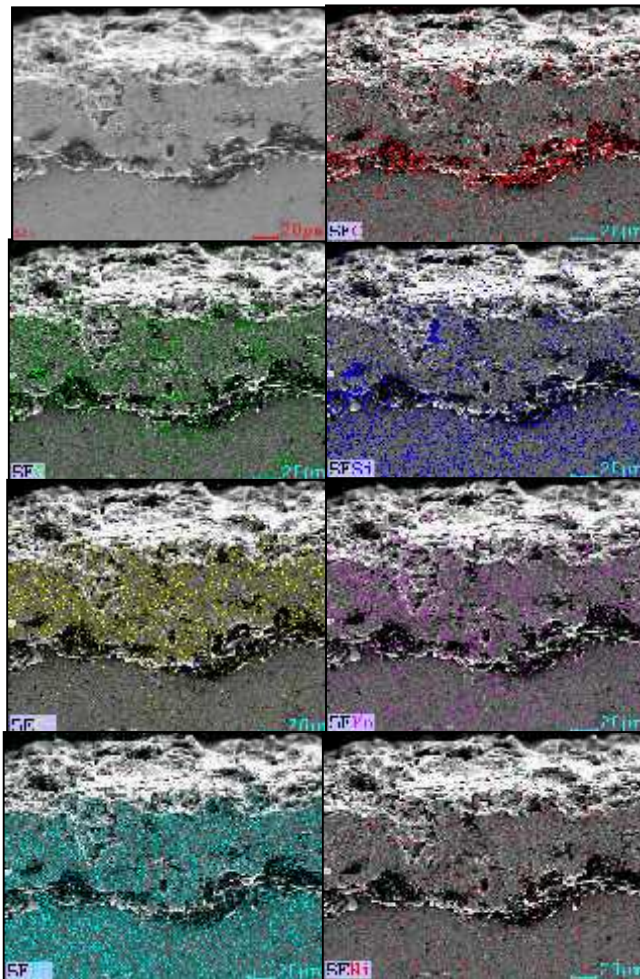
Analisis ini dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur dari spesimen yang telah *dicoating* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersion Spectrometry* (EDS). Hasil dari pengujian berupa persebaran partikel dengan warna yang berbeda sesuai dengan unsur seperti pada Gambar 4.6-Gambar4.9 sehingga didapatkan komposisi presentasi unsur spesimen *coating* yang dapat dilihat pada table 4.2.

Tabel 4.2 Presentase Massa Unsur Spesimen Coating

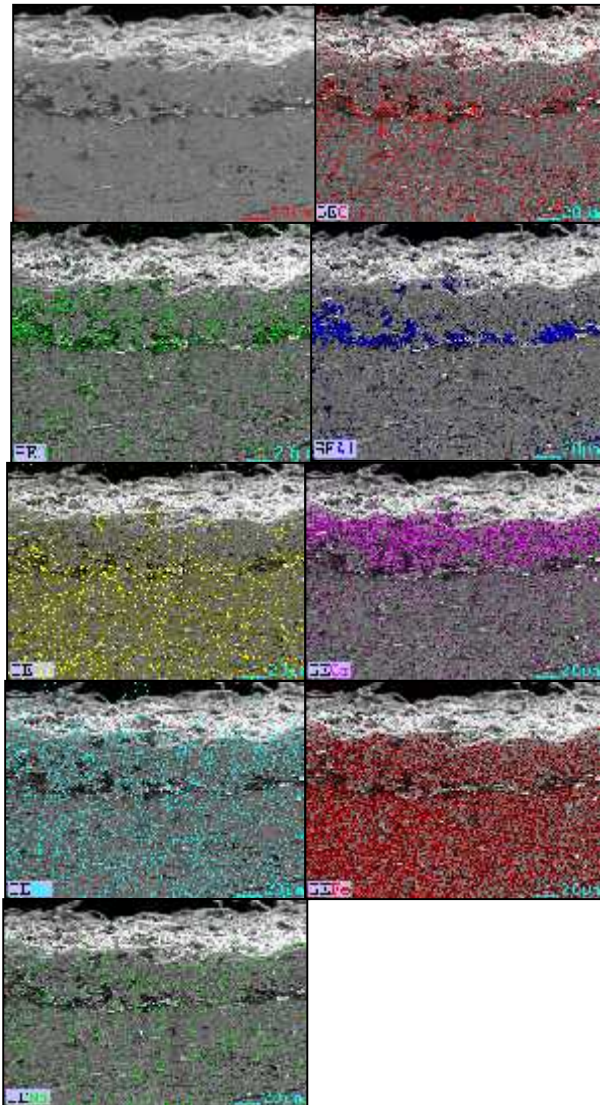
Unsur	100mm (% Massa)	150mm (% Massa)	200mm (% Massa)	250 (% Massa)
C	05.12	07.85	06.15	05.64
O	08.11	07.35	07.45	06.52
Al	04.66	-	03.35	03.52
Si	02.66	02.95	03.77	02.92
Cr	06.41	05.13	03.11	05.99
Mn	00.70	01.88	01.84	01.30
Fe	72.11	74.04	73.06	73.15
Ni	00.21	00.81	01.26	00.97



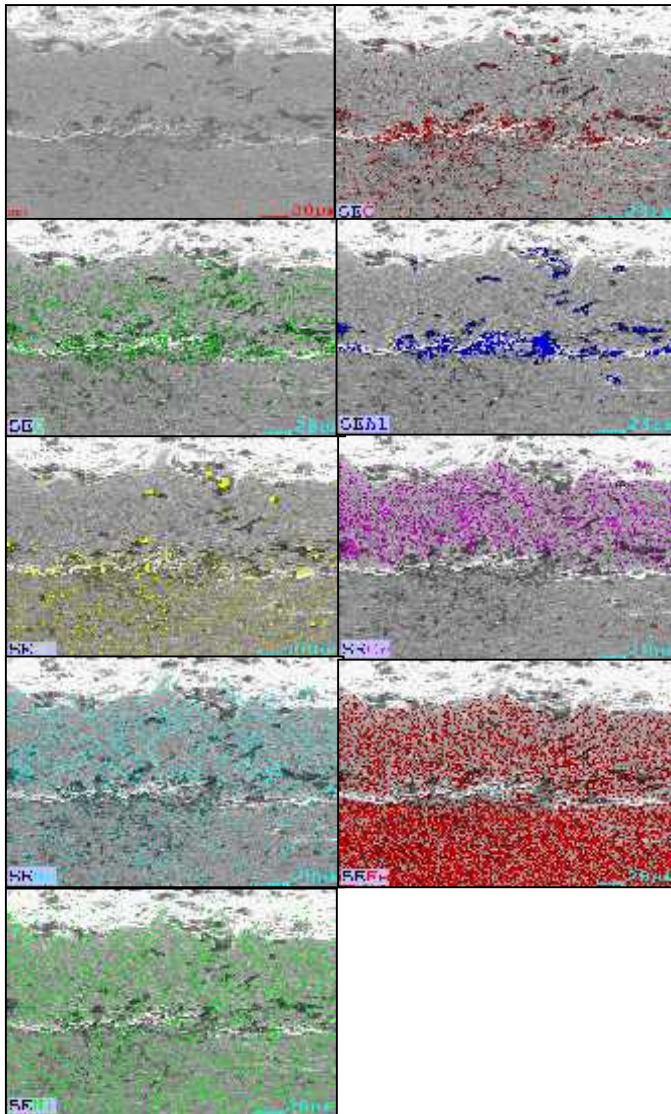
Gambar 4.6 *Mapping Cross Section Jarak Spray 200mm*



Gambar 4.7 Mapping Cross Section Jarak Spray 150mm



Gambar 4.8 *Mapping Cross Section Jarak Spray 200mm*



Gambar 4.9 Mapping Cross Section Jarak Spray 250mm



Dari hasil uji SEM/EDS, dapat diketahui unsur –unsur yang terbentuk pada *cross section coating* adalah C, O, Al, Si, Cr, Mn, Fe, dan Ni. Sesuai tabel 4.9 dengan unsur yang sama didapatkan hasil presentase komposisi yang berbeda setiap variasi jarak *spray*.

Pada Gambar 4.6 Variasi jarak *spray* 100mm nampak bahwa unsur C berkoloni pada *interface* serta sebagian kecil menyebar di *cross section* substrat dan *coating*. Persebaran unsur O menyebar merata pada *cross section* bagian *coating* terutama di sekitar *interface*, munculnya unsur O dikarenakan proses pelapisan yang dilakukan pada kondisi tidak vakum serta faktor dari gas yang . Persebaran unsur Cr terlihat rapat dan terdistribusi merata hanya pada *cross section* bagian *coating*. Kemudian tampak bahwa unsur Fe terdistribusi rapat dan merata pada seluruh bagian *cross section* karena Fe merupakan unsur yang mendominasi dengan kadar komposisi tertinggi.

Pada Gambar 4.7 variasi jarak *spray* 150mm menunjukkan bahwa persebaran unsur C berkoloni di *interface* serta sebagian kecil tersebar di substrat dan *coating*. Untuk Unsur O tersebar didaerah *coating* hingga sekitar *interface*. Persebaran Unsur Cr terdapat pada bagian *coating*. Kemudian Unsur yang mendominasi adalah Fe karena memiliki persebaran merata pada seluruh bagian *cross section*.

Pada Gambar 4.8 variasi jarak *spray* 200mm menunjukkan bahwa persebaran unsur C tersebar merata di seluruh *cross section* namun intensitas kerapatannya tidak setinggi Fe dan terdapat sedikit unsur C yang berkoloni di bagian *interface*. Untuk Unsur O tersebar didaerah *coating* hingga sekitar *interface* dan sebagian kecil dari substrat. Persebaran Unsur Cr terbanyak terdapat pada bagian *coating* dan sebagian menyebar di substrat. Kemudian Unsur yang mendominasi adalah Fe karena memiliki persebaran merata pada seluruh bagian *cross section*.



Pada Gambar 4.9 variasi jarak *spray* 250mm menunjukkan bahwa persebaran unsur C berkoloni di bagian *interface* serta sebagian menyebar pada *coating* dan substrat. Untuk Unsur O tersebar didaerah coating hingga sekitar interface dan terdapat sedikit unsur O di substrat. Sedangkan persebaran unsur Cr hanya terdapat pada bagian *coating*. Kemudian unsur yang mendominasi adalah Fe karena memiliki persebaran merata pada seluruh bagian *cross section* dengan kerapatan titik mapping O di substrat lebih tinggi dibandingkan pada bagian *coating*.

Terlihat bahwa terdapat kandungan Al pada variasi jarak *spray* 100mm, 200mm, dan 250mm karena menggunakan pasta alumina pada proses *polishing cross section* sebelum dilakukan EDS sehingga tampak unsur Al terjebak didaerah poros dan *interface*. Selain itu tabel 4.2 menunjukkan adanya kandungan O yang sebelumnya tidak ada pada komposisi *coating* maupun substrat, hal ini dikarenakan proses pelapisan dilakukan pada kondisi tidak vakum dan penggunaan gas yang bertekanan tinggi untuk mendorong *feed* keluar dari *nozzle* dan mengenai substrat.

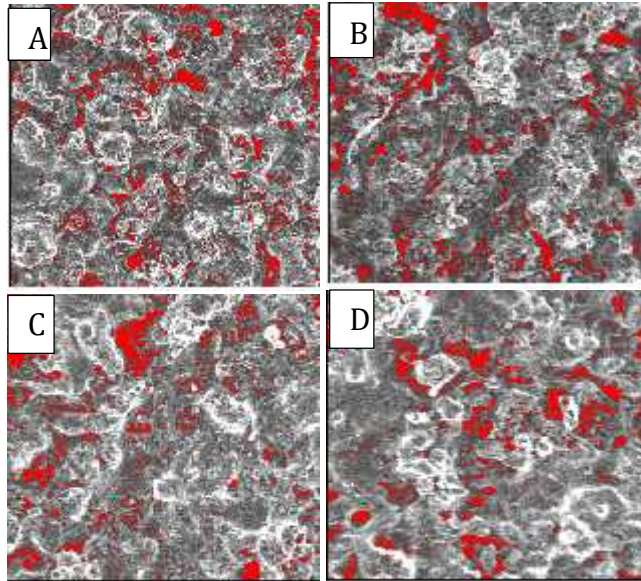
Unsur C berkoloni dan sebagian menyebar di *cross section* serta unsur Cr yang terdapat dibagian *cross section coating* menyebabkan *over lapping* di bagian permukaan antara titik mapping Cr dan C. Sementara itu, unsur O berkoloni dan sebagian menyebar di *coating* hingga sekitar interface serta unsur Fe terdapat diseluruh *cross section* menyebabkan adanya *over lapping* di bagian *coating* hingga sekitar *interface* antara titik mapping Fe dan O. *Over lapping* juga terjadi pada unsur Fe dan Ni karena kedua unsur tersebut secara merata tersebar diseluruh *cross section* dengan titik mapping Fe lebih rapat dibanding Ni.

4. 2.4 Analisis Area Poros Menggunakan Software Image J

A. Analisis Area Poros pada Permukaan Coating menggunakan Software ImageJ

Untuk mengetahui morfologi permukaan hasil coating dilakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Hasil SEM permukaan perbesaran 100x digunakan untuk menguji area poros permukaan spesimen dengan menggunakan software Image J. Penampang hasil Image J dapat dilihat pada Gambar 4.10



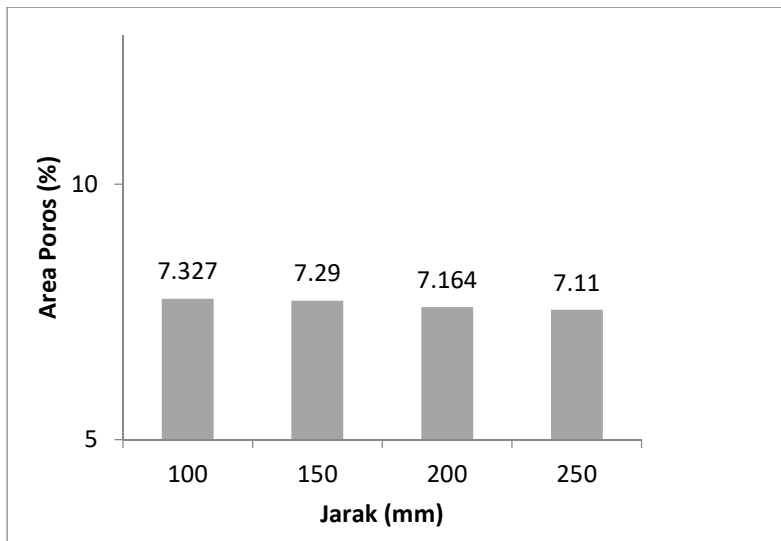
Gambar 4.10 Analisis Area Poros *Surface Coating* Variasi Jarak Spray (a)100mm, (b)150mm, (c)200mm, dan (d)250mm

Warna merah menunjukkan area poros pada permukaan coating. Pada gambar 4.10 menunjukkan spesimen saat perbesaran 100x dengan variasi jarak 100mm menunjukkan porositas yang paling tinggi, sedangkan variasi jarak (b)150mm mempunyai porositas yang lebih tinggi daripada spesimen dengan jarak spray (c)200mm, dan variasi jarak (d)250mm memiliki area poros terluas. Analisis Gambar 4.10 dapat dibuktikan dengan presentase area poros pada tabel 4.3 berikut



Tabel 4.3 Presentase Area Poros *Surface Coating*

Variasi (mm)	Jarak	Area (%)	Poros
100		7,327	
150		7,290	
200		7,164	
250		7,110	

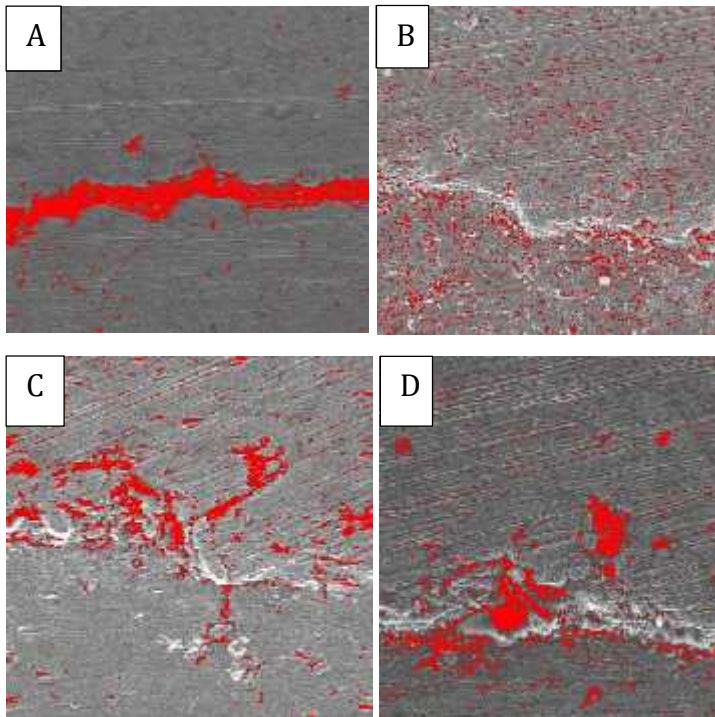


Gambar 4.11 Presentase Area Poros *Surface Coating*

B. Analisis Area Poros Pada Cross Section menggunakan Software ImageJ

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengetahui morfologi penampang lintang (*cross section*) yang terbentuk diantara substrat dan lapisan *coating*. Selain itu hasil dari SEM Morfologi dapat digunakan untuk

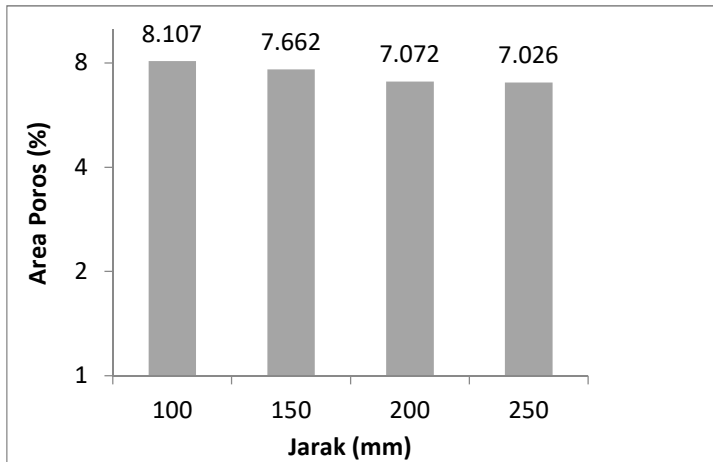
mengamati area poros yang terbentuk menggunakan software ImageJ pada *cross section* spesimen *coating* dengan perbesaran 500x. Hasil area poros terlihat pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Analisis Area Poros *Cross-Section* Jarak Spray
(a)100mm, (b)150mm, (c)200mm dan (d)250mm

Tabel 4.4 Hasil Area Poros *Cross Section* menggunakan ImageJ

Jarak (mm)	Area Poros (%)
100	8,107
150	7,662
200	7,072
250	7,026



Gambar 4.13 Presentase Area Poros *Cross Section* Spesimen *Coating*

Sesuai Tabel 4.4 bahwa presentase area poros tertinggi ada pada variasi jarak spray 100mm sebesar 8,107% dan paling rendah pada variasi jarak *spray* 250mm. Gambar 4.13 menunjukkan terjadinya penurunan presentase area poros pada jarak *spray* yang semakin jauh.

4.3 Analisis *Apparent Porosity*

Apparent porosity adalah hubungan dari pori yang terbuka dengan bulk volume yang dinyatakan dalam persen (Handbook of Thermal Spray Technology, 2005). Pengujian porositas ini dilakukan secara manual menggunakan prinsip archimedes, yaitu spesimen yang telah dicoating dicelupkan ke dalam aquades untuk mengetahui massa awal, massa basah, dan massa kering di udara sehingga didapatkan presentase nilai porositas. Hasil presentase porositas ditunjukkan pada tabel 4.5.



Tabel 4.5 Presentase *Apparent Porosity*

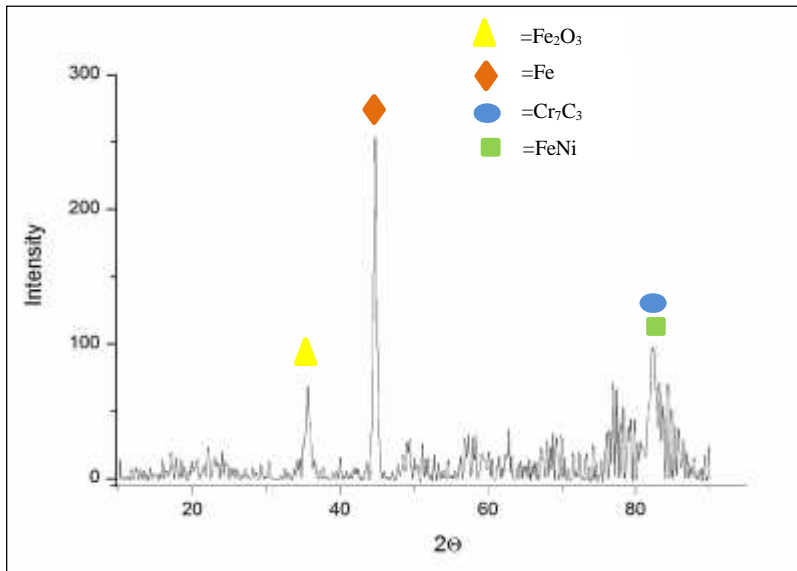
Jarak (mm)	Porositas (%)
100	14,6341
150	10,4167
200	7,2165
250	5,4974

Sesuai tabel 4.5 bahwa presentase porositas tertinggi adalah pada jarak 100mm yang merupakan jarak terdekat dengan porositas sebesar 14,6341% dan presentase porositas terkecil pada jarak spray terjauh yaitu 250mm dengan porositas sebesar 5,4974. Naiknya jarak *spray* menuju substrat diikuti dengan turunnya nilai porositas. Semakin besar jarak *spray* dan tingginya tekanan gas akan memperkecil ukuran splat (Daengmool,2006). Apabila jarak yang digunakan terlalu dekat dan terlalu jauh maka porositas yang dihasilkan akan membesar karena adanya partikel yang tidak melebur atau telah tersolidifikasi sebelum mencapai substrat (Ozkan,2004)

Porositas dalam lapisan juga dapat menyebabkan generasi fragmen lapisan untuk melepaskan diri dan menjadi bagian yang abrasif, yang dapat meningkatkan laju keausan pada lapisan. Tetapi disalah satu sisi porositas dapat sebagai penampung pelumas (Arthana, 2014).

4.4 Analisis XRD (*X-Ray Diffraction*)

X-Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk analisis pengujian fasa atau senyawa pada material dan juga karakterisasi kristal. Hasil dari pengujian ini berupa grafik dengan puncak intensitas dan data 2 θ .



Gambar 4.14 Hasil XRD sampel *coating* FeCrMnNiCSi jarak *spray* 200mm

Gambar 4.14 menunjukkan hasil XRD pada material hasil *coating* FeCrMnNiCSi jarak *spray* 200mm dan tekanan 4,5 bar. Diketahui intensitas tertinggi adalah Fe pada posisi 2θ 44,7594. Hal ini terjadi karena Fe merupakan kandungan dasar dari material coat maupun substrat. Peak berikutnya menunjukkan senyawa Cr_7C_3 yang berhimpit dengan senyawa FeNi pada posisi 2θ 82,2736, hasil persebaran titik mapping memperlihatkan bahwa terjadi overlapping unsur Cr dengan C dan Fe dengan Ni. Kemudian, peak dari senyawa Fe_2O_3 terbentuk pada posisi 2θ 35,7016; dari data EDS dapat dilihat bahwa unsur Fe dan O juga terdapat *over lapping* sehingga memungkinkan terbentuk senyawa dibagian tersebut.

Proses *wire arc spray* menggunakan thermal untuk melelehkan wire yang akan disemprotkan kepermukaan. Proses

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



ini menggunakan udara sebagai gas untuk mengalirkan lelehan materialnya sehingga memungkinkan terjadi oksidasi pada material ketika proses pelapisannya (Shauma, 2016).

4.5 Pengamatan Kekasaran pada Permukaan Coating

Pengujian kekasaran dilakukan pada permukaan untuk mengetahui morfologi dari material coating *FeCrMnNiCSi*. Permukaan *coating* terdiri dari 4 sample dengan variasi jarak 100mm, 150mm, 200mm, dan 250mm menghasilkan nilai kekasaran berbeda seperti pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil Uji Kekasaran

Jarak (mm)	Kekasaran (μm)
100	189,665
150	177,999
200	177,330
250	171,167

Tabel 4.6 merupakan nilai kekasaran pada permukaan spesimen hasil *coating* dengan variasi jarak *spray* 100mm, 150mm, 200mm, dan 250mm. Pada tabel 4.6 jarak *spray* 100mm memiliki nilai kekasarannya paling tinggi. Jarak 150mm memiliki porositas yang lebih rendah dan permukaan yang lebih halus yang menyebabkan nilai kekasarannya lebih rendah dibanding spesimen jarak *spray* 100mm. Jarak 250mm memiliki nilai kekasaran terkecil dibandingkan spesimen variasi jarak lainnya. Nilai kekasaran yang beragam terjadi karena pada jarak yang dekat partikel belum melting secara sempurna saat mengenai permukaan substrat sehingga menimbulkan splat partikel bulat berukuran besar pada proses solidifikasi, sedangkan jika dibandingkan dengan jarak yang lebih jauh nilai kekasarannya semakin kecil karena partikel mempunyai waktu lebih lama untuk melting dengan begitu splat yang terbentuk lebih kecil dan halus. Bulatnya bentuk partikel yang dihasilkan akan menghasilkan



rongga pada permukaan *coating*nya sehingga nilai porositas dan kekasarannya akan semakin besar.

Thermal Spray terbentuk dari deposisi *molten droplet* pada substrat yang solid. *Molten droplet* merata karena *impact*, sehingga *droplet* menyatu dan membeku membentuk lapisan padat. Bentuk dari *splat* pipih adalah akibat dari kekasaran dan temperatur substrat serta kecepatan benturan *droplet* (Rajeev, 2003).

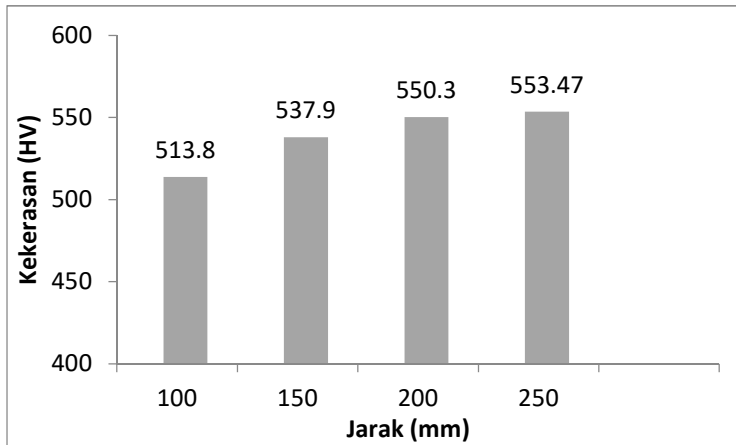
Ketidak seragaman ukuran partikel menyebabkan hasil pelapisan menggunakan teknik *thermal spray* akan menghasilkan permukaan yang tidak rata, sehingga diperlukan proses permesinan jika menginginkan permukaan hasil pelapisan yang halus (Arthana, 2014).

4.6 Analisis Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan fasa pada lapisan *coating*. Pengujian kekerasan lapisan *coating* menggunakan *microhardness vicker tester* (Model 402MVD S/N “V2D531”), nilai kekerasan didapatkan dengan mengambil rata-rata dari tiga titik indentasi bagian permukaan hasil *coating*. Beban yang digunakan sebesar 500 gf dengan waktu indentasi selama 30 detik. Data hasil pengujian *microhardness* ditampilkan pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen

Jarak (mm)	Kekerasan (HV)
100	513,80
150	537,90
200	550,63
250	553,47



Gambar 4.15 Hasil Data Kekerasan Spesimen *Coating*

Pada Gambar 4.15 kekerasan terendah ditunjukkan pada jarak spray 100mm yaitu sebesar 513,80HV dan terus meningkat hingga mencapai kekerasan tertinggi pada jarak *spray* 250mm sebesar 553,47HV. Hal ini terjadi karena pada jarak yang dekat partikel belum melting secara sempurna saat mengenai permukaan substrat sehingga menimbulkan splat partikel bulat berukuran besar pada proses solidifikasi, sedangkan jika dibandingkan dengan jarak yang lebih jauh mempunyai waktu lebih lama untuk melting dengan begitu splat yang terbentuk lebih kecil dan halus sehingga kerapatannya lebih tinggi.

Penelitian Setiawan tahun 2013 menunjukkan bahwa permukaan *coating* pada variasi jarak *spray* 200mm (variasi jarak spraying terjauh) memiliki kerapatan yang tinggi. Kerapatan permukaan dan porositas coating berperan dalam meningkatkan nilai kekerasan. Pada variasi jarak yang digunakan tidak menunjukkan adanya perubahan yang signifikan. Namun tetap adanya sebuah perbedaan dari variasi jarak tersebut. Hal ini seperti dengan penelitian yang menunjukkan bahwa jarak *spray* adalah parameter penting yang berpengaruh signifikan terhadap kekerasan, porositas dan kekasaran *coating* (Setiawan, 2013)

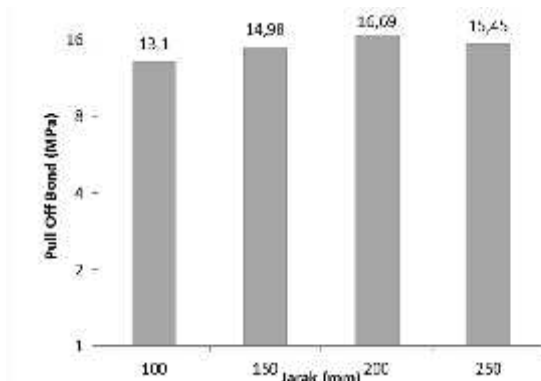


4.7 Analisis Pengujian *Pull Off Bonding*

Pengujian *pull off bonding* ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan lekat antara permukaan *coating* dengan substrat. Pengujian dilakukan dengan menempelkan pin (*dolly*) pada permukaan *coating* yang direkatkan dengan lem *araldite*, kemudian dilakukan penarikan dengan alat uji hingga pin terlepas dari permukaan *coating* dan menarik sebagian lapisan *coating*. Nilai yang terukur (MPa) pada alat uji itulah yang menunjukkan kekuatan lekat lapisan *coating*. Pada Tabel 4.8 menunjukkan hasil kekuatan lekat pada masing-masing spesimen yang telah dicoating dengan variabel jarak *spray*.

Tabel 4.8 Nilai Kelekatan Spesimen Hasil *Coating*

Jarak (mm)	Percobaan	Rata-rata (MPa)
100	11,54	13,10
	15,74	
	12,03	
150	16,49	14,98
	13,54	
	14,92	
200	18,52	16,69
	14,52	
	17,03	
250	15,52	15,45
	15,59	
	15,23	



Gambar 4.16 Pengujian *Pull Off Bonding* Spesimen *Coating*



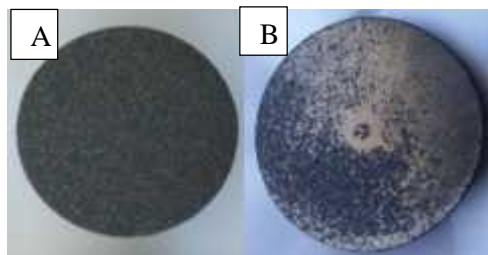
Gambar 4.17 Pengamatan Visual Pengujian *Pull Off Bonding* dengan Variasi Jarak *Spray* (a)100mm, (b)150mm, (c)200mm, dan (d)250mm.

Kekuatan adhesif merupakan hasil dari mekanika interlocking antara substrat dan material coat, sesuai Gambar 4.17 dapat dilihat secara visual spesimen coating yang telah diuji *Pull Off* memiliki luasan penampang yang tertarik pin berbeda-beda, pada spesimen (a) secara visual memiliki daerah penampang yang tertarik pin paling luas, kemudian semakin bertambah jarak spray daerah penampang yang tertarik pin lebih sedikit sehingga tampak luasan terendah pada spesimen (d). Berdasarkan Gambar 4.16 didapatkan nilai kelekatan terendah pada spesimen (a) sebesar 13,1MPa dan nilai kelekatan tertinggi pada spesimen (c) jarak *spray* 200mm sebesar 16,69MPa. Kemudian terjadi penurunan

pada jarak 250mm dengan nilai kelekatan 15,45Mpa. Hal ini terjadi karena ketebalan coating pada jarak 250mm lebih tinggi dibandingkan spesimen hasil coating dengan jarak *spraying* 200mm sehingga internal stress semakin tinggi. Pada spesimen jarak *spray* 100mm memiliki nilai kelekatan terendah dikarenakan memiliki ketebalan paling tinggi sehingga menghasikan *internal stress* paling besar diantara variasi jarak *spray* lain. Ketebalan hasil *coating* berpengaruh terhadap tegangan sisa permukaan dari hasil *coating*. Semakin besar tingkat ketebalan *coating* maka tegangan sisa permukannya semakin besar sehingga menurunkan kekuatan adhesinya (Anthunes, 2013).

4.8 Analisis Ketahanan Abrasive

Pengujian *Abrasive wear resistance* dilakukan untuk mengetahui ketahanan aus dari spesimen yang telah dicoating. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *Flat Disk Revolution Wear Test*, mengacu pada prinsip JIS H-8503 *Methods of Wear Resistance Test for Metallic Coating*. *Flat Disk Revolution Wear Test* menggunakan *load* sebesar 0,98N yang merupakan standart test metallic coating dengan kertas abrasif grade 240 yang dipasang pada rotary disk (JIS Handbook, 1984). Putaran yang digunakan adalah 830rpm selama 3menit, dengan diameter disk 120mm sehingga jarak yang ditempuh 938,232m;



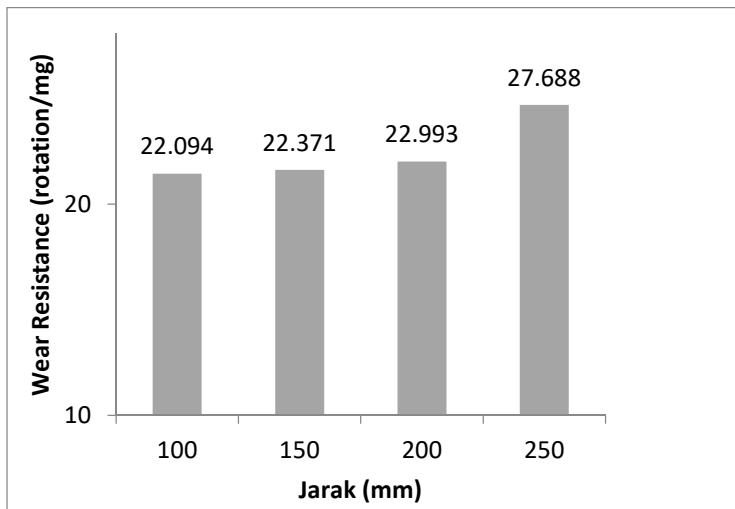
Gambar 4.18 Spesimen *Coating* (a) Sebelum dan (b) Setelah dilakukan Uji Abrasif



Gambar 4.18 memperlihatkan spesimen sebelum dan setelah dilakukan coating, dan pada Gambar (b) bagian yang terkikis masih merupakan bagian dari coating.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian *Abrasive Wear Resistance*

Jarak (mm)	Ketahanan Abrasif (rotation/mg)
100	22,094
150	22,371
200	22,993
250	27,688



Gambar 4.19 Hasil Pengujian Ketahanan Abrasif

Pada tabel 4.9 menunjukan bahwa nilai Ketahanan abrasif terendah pada variasi jarak *spraying* 100mm sebesar 22,094rotation/mg sementara nilai ketahanan abrasif tertinggi pada jarak 250mm sebesar 27,688rotation/mg. Gambar 4.19 memperlihatkan kenaikan nilai ketahanan seiring dengan jarak *spraying* yang semakin jauh. Besarnya nilai ketahanan abrasive



berhubungan dengan kekerasan. Spesimen yang mempunyai nilai kekerasan tinggi mempunyai volume keausan rendah, sedangkan spesimen yang memiliki kekerasan rendah memiliki volume keausan tinggi. Artinya, spesimen yang memiliki kekerasan tinggi memiliki Ketahanan aus yang tinggi pula begitu pula sebaliknya spesimen dengan kekerasan rendah memiliki nilai ketahanan aus yang rendah (Arthana, 2014). Selain itu, kekasaran permukaan juga menjadi faktor yang mempengaruhi ketahanan abrasif, kekasaran permukaan yang tinggi akan menggerus permukaan komponen lain ketika terjadi kontak, variasi jarak *spraying* 250mm yang merupakan spesimen dengan ketahanan abrasif paling tinggi memiliki nilai kekasaran terendah, ketahanan abrasifnya menurun seiring dengan tingkat kekasaran yang semakin tinggi. Kekasaran permukaan yang meningkat akan menyebabkan kontak area yang semakin besar dan deformasi pada permukaan semakin besar, sehingga menyebabkan *friction force* akan meningkat dan pada akhirnya koefisien gesekan juga akan meningkat (Arthana, 2014).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan jarak *spray* menghasilkan presentasi porositas yang semakin kecil. Presentase porositas terendah pada jarak *spray* 250mm sebesar 5,4974% dan tertinggi pada jarak *spray* 100mm sebesar 14,6341%
2. Peningkatan jarak *spray* menghasilkan nilai *abrasive wear resistance* yang semakin tinggi. Nilai ketahanan abrasif pada jarak *spray* 100mm sebesar 22,094rotation/mg dan pada jarak *spray* 250mm sebesar 27,688rotation/mg.

5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian maka hal-hal yang dapat disarankan adalah sebagai berikut :

1. Hasil pelapisan material *coating* FeCrMnNiSiC pada *grey cast iron* sebagai aplikasi silinder liner perlu melalui proses *machining* untuk memperhalus permukaan *coating*.
2. Perlu diadakan pengujian ulang dengan kondisi *lubricated* (menggunakan pelumas) untuk mengetahui efek dari porositas hasil *coating*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abkenar, Amir Hossein Pourmousa. (2007). "Wire Arc Spraying System: Particle Production, Transport, and Deposition". **Kanada: Departemen of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto.**
- Antunes, Jose Fernando., Brito., Vinisius Ribeiro dos Santos de Sa., Bastos., Ivan Napoleao., Costa., Hector Reynaldo Meneses. (2013). "**Characterization of FeCr and FeCoCr alloy Coatings of Carbon Steels for Marine Environment Applications**". Applied Adhesion Science
- Arthana, Gede. (2014). "Ketahanan Aus Lapisan Ni-Cr pada Dinding Silinder Liner dengan Menggunakan *Powder Flame Spray Coating*". **Bali: Teknik Mesin Universitas Udayana**
- ASM International. (2005). "**Handbook Thermal Spray Technology**" United States of America: ASM International
- ASM International, (1992). "**ASM Handbook. Volume 3: Alloy Phase Diagrams**". United States America: ASM Handbook
- ASM International. (1994). "**ASM Handbook. Volume 5: Surface Engineering**". United States of America: ASM International.
- Daengmool, Reungruthai, Sitichai Wirijanupathum, Sukanda J., Apicat Sopadang. (2006). "**Effect of Spray Parameter on Stainless Steel Arc Sprayed Coating**". MP03.
- Dorfman, M.R. (2005). "*Thermal Spray Coating in Handbook of Environmental Degradation of Materials*". **Norwich: William Andrew Publishing.**

- Fitri.,Dadan Irwan. (2014). “Analisis Pengaruh Bentuk Permukaan Piston terhadap Kinerja Motor Bensin”. **Bekasi: Teknik Mesin, Universitas Islam 45.**
- Glaeser, W. A. and Gaydos, P. A. (1992). “**Development of a wear test for adiabatic diesel ring and liner materials**”. ASTM 1993, Proc Symp wear test selection for design and application. USA
- Gupta, K. M. (2014). “**Engineering Materials: Research, Applications and Advamces**”. New York
- Larasati, F. dan Yuli. S. (2013). “Pengaruh Jarak Nozzle dan Tekanan Gas pada Proses Pelapisan Ni-20cr dengan Metode *Wire Arc Spray* Terhadap Ketahanan *Thermal* ”. **Surabaya : Jurusan Teknik Material dan Metalurgi,FTI-ITS.**
- JIS HandBook. 1984. **Non-Ferrous Metals and Metallurgy.** Japanese Standards Association
- Kovari, Ingrid. 2009. Study and Characteristic of Abrasive Wear Mechanism. **Slovak University of Technology**
- Lisabella, Shauma. (2016) “Pengaruh Tekanan Gas dan Jarak Nozzle Terhadap Ketahanan Thermal dan Daya Lekat pada Proses Pelapisan Alumunium Substrat SS 304 dengan Metode Arc Spray. **Surabaya : Jurusan Teknik Material dan Metalurgi,FTI-ITS.**
- Oerlicon metco. (2016). “*An Introduction to Thermal Spray*” – Issue 6 – July 2016
- Pawlowski, Lech . (2008). “*The Science and Engineering of Thermal Spray Coating Second Edition*”. The Atrium, Southern Gate, Chichester,West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Peng, Yubin., Yufu Xu., Jian Geng., Karl D Dearn., Xianguo Hu. (2017). “Tribological Assasment of Coated Piston Ring-Cylinder Liner Contacts Under Bio-Oil Lubricated Conditions”. **China: Mechanical Engineering, Hefei University of Technology.**

- Purwaningsih, H., Sulistijono., Lukman N., Rindang F., Cartha K. 2010. "Studi Antar Muka Top Coat dan Bond Coat pada Rekayasa Pelapisan Alumina Sebagai Lapisan Perintang Panas untuk Aplikasi Temperatur Tinggi". **Surabaya: Teknik Material dan Metalurgi, FTI-ITS.**
- Rabindra, Bhola. 1997. "**Impact and Freezing Of Molten Tin Droplets On A Solid Surface**
- Rabinowicz, E. (1965). "Effect of Abrasive Particle Size on Wear". **USA: Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology**
- Sarikaya, O., (2005). **Effect of some parameters on microstructure and hardness of alumina coatings prepared by air plasma spraying process. Surface Coat. Technol.,**
- Setiawan, Sugiono.dan Yuli. S. (2013). "Pengaruh Variasi Sudut Nozzle dan Jarak Nozzle Pada Arc Spray Coating Terhadap Ketahanan Abrasif Lapisan 13% Chrome Steel". **Surabaya : Jurusan Teknik Material dan Metalurgi,FTI-ITS.**
- Situngkir, Haposan. 2009. Pengaruh Putaran Cetakan Terhadap Sifat Mekanik Besi Cor Kelabu pada Pembuatan Silinder Liner Mesin Otomotif dengan Pengecoran Sentrifugal Mendatar. **Medan: Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara**
- Sobolev V.V., Guilemany J.M., dan Martin A.J., 1997. Flattening of Composite Powder Particles during Thermal Spraying. *Journal of Thermal Spray Technology.*
- Stachowiak, G. W., Batchelor, A.W., (2005). "Engineering Tribology," Elsevier, 3rd ed., Burlington.
- Suardia, T., Shinroku S., (1995). "**Pengetahuan Bahan Teknik**". Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suyatno, Agus. (2011). "Variasi Campuran Bahan Bakar dengan Peralatan Elektromagnet terhadap Emisi Gas Buang pada

- Motor Bakar Bensin 3 Silinder”. Malang: Teknik Mesin, Universitas Widyagama.
- Talib, R.J., S. Saad., M.R.M Toff., H.Hassim. (2003). “Thermal Spray Coating Technology”. Malaysia
- Ting, L. L., (1980). “Lubricated Piston Rings and Cylinder Bore Wear, *Wear Control Handbook*, American Society of Mechanical Engineers”.
- Torres, H., Varga, M., Adam, K. and Rodríguez Ripoll, M. (2016). “The Role of Load on Wear Mechanisms in High Temperature Sliding Contacts’. *Wear*
- Tung, Simon C dan Yong Huang. (2003). “Modeling of Abrasive Wear in a Piston Ring and Cylinder Bore System”. **Georgia: Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology.**
- Wang, X., Heberlein, J., Pfender, E., Gerberich, W., . (1999). **“Effect of Nozzle Configuration, Gas Pressure, and Gas Type on Coating Properties in Wire Arc Spray”**, JTTEE
- Y. Wu, P. Lin, C. Chu, Z. Wang, M. Cao, J. (2007). “Cavitation Erosion Characteristics of a Fe–Cr–Si–B–Mn coating Fabricated by High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Thermal Spray”. *Journal of Materials Letters*

LAMPIRAN

1. Data Komposisi Grey Cast Iron FC25

GREY CAST IRON BAR

GREY CAST IRON BAR

SHAPE:
Round bar, Length $\pm 10'$ (3.1 meter)

TOLERANCE:
 ± 1 mm

APPLICATION:
Piston, bearing, manifold, impellers, valves, stems, puli, gears, glets molding, sprocket

EXCELLENCE:
Reliable, vibration dargers

EQUIVALENT STANDARD MATERIAL CODES

JEPANG	JIS	: G5501	FC25/35
AMERIKA	ASTM	: A 48-92	K18 35-40
INGGRIS	BS	: 1452-90	Grade 17
JERMAN	DIN	: 1691-85	GG 25
INTERNASIONAL	ISO	: 182-88	250-350
INTERNASIONAL	AS	: 1830	F 250

MECHANICAL PROPERTIES

CLASS	SYMBOL	SAMPLE DIAMETER (mm)	TENSILE STRENGTH (N/mm ²)	FLEXURAL PERFORMANCE		BRIKELL HARDNESS (HB)
				Max Load (N)	Deflection (mm)	
4	FC25	10	Min. 275	Max. 8160	Min. 2.0	Max. 269
		20	Min. 295	Max. 8800	Min. 3.0	Max. 248
		40	Min. 216	Min. 37540	Min. 7.0	Max. 229
5	FC30	10	Min. 330	Min. 9292	Min. 2.5	Max. 269
		20	Min. 256	Min. 25500	Min. 3.5	Max. 248
		40	Min. 361	Min. 5881	Min. 2.5	Max. 285
6	FC35	10	Min. 314	Min. 28440	Min. 3.5	Max. 269
		40				

CHEMICAL COMPOSITION (%)

Al	Cu	Mn	P	Si	S	Nb	C	Cr	Ti	Mo
Max. 0.01	Max. 0.3	Max. 0.08	Max. 0.1	2.2 - 2.9	Max. 0.06	0.1 - 0.7	3.0 - 3.7	Max. 0.08	Max. 0.05	Max. 0.1

2. Komposisi Kimia Material Coat FeCrNiMnCSi (Metcoloy 2)

* Material Information

2.1 Chemical Compositions

Product	Nominal Composition	Weight Percent (wt.%)									
		Fe	Cr	Ni	Mn	Si	C	P	S	Other (max)	
Metcoloy 1	Fe-16.2%Cr-0.0011%N-0.1%Si	Min	16.0	16.1	0.1	—	0.06	—	0.02	0.05	
Metcoloy 2	Fe-20%Cr-0.0015%N-0.25%Si	Min	19.0	19.5	0.2	—	0.08	—	0.02	0.05	
Metcoloy 4	Fe-20%Cr-0.0015%N-0.25%Si	Min	17.0	17.0	0.2	0.5	0.08	—	0.02	0.05	
Metcoloy 5	Fe-19%Cr-0.0015%N-0.1%Si	Min	18.5	19.0	0.2	—	0.12	—	0.02	0.05	
Metcoloy 500	Fe-17%Cr-0.0015%N-0.1%Si	Min	17.0	—	0.2	—	0.02	—	0.02	0.05	

0.01 = not specified

2.2 Manufacturing Method, Available Wire Sizes and Recommended Spray Processes

Product	Manufacturing Method	Available Wire Diameters				
		1.3 mm (0.05 in)	2 mm (0.08 in)	3.0 mm (0.12 in)	4.0 mm (0.16 in)	4.8 mm (0.19 in)
Metcoloy 1	●	●	●	●	●	●
Metcoloy 2	●	●	●	●	●	●
Metcoloy 4	●	●	●	●	●	●
Metcoloy 5	●	●	●	●	●	●
Metcoloy 500	●	●	●	●	●	●

● Cold wire ● Cold wire ● Electric Arc Wire Solder ● Combustion Wire Solder

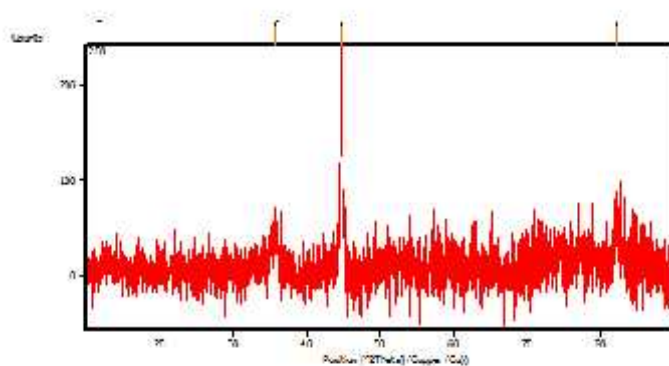
2.3 Key Selection Criteria

- Metcoloy 1 is a good choice for applications where high mechanical strength and corrosion protection is required. As this is a high-strength material, it is recommended for use in grooves greater than 0.03 mm (0.001 in).
- Metcoloy 2 is recommended for applications that require a hard coating with good wear resistance and corrosion protection. It is a low-stress material. It is the best choice for coating curved surfaces such as small diameter shafts. Using the combustion wire spray process, Metcoloy 2 can be sprayed very thick, greater than 1.3 mm (0.05 in), which provides a considerable wear reserve for use in applications such as hydroelectric slide rails.
- Metcoloy 4 can be used in applications that require resistance to wear and corrosion in organic acids at high temperatures. It can also be used in marine environments

and is often chosen for manufacturing rolls for paper production.

- Metcoloy 5 is recommended for applications where high corrosion resistance and relatively low wear protection are required. Coatings of Metcoloy 5 exhibit low stress and are recommended for internal diameters, particularly where thick coatings are needed. Using the combustion wire spray process, Metcoloy 5 coatings can be applied thicker than Metcoloy 1 coatings, but not as thick as Metcoloy 2 coatings. Metcoloy 5 is used for general machine structures such as loading/unloading rolls and for applications in the food industry.
- Metcoloy 500 is recommended for applications requiring good protection against friction, erosion and thermal shock protection at temperatures up to 800 °C (1400 °F).

3. Hasil XRD Jarak *Spray* 200mm



Peak List: (Reference)

Pos [°2θ]	Height [cts]	FWHM [°2θ]	d-spacing [Å]	Ref. Int. [%]
41.6831	5.16	0.3007	2.97444	2.24
43.7016	42.14	0.4015	2.91497	18.77
44.7564	230.59	0.1004	2.02483	100.00
62.2736	47.62	0.6591	1.17189	20.78

4. JCPDS 01-007-0722

055 174217 185 23 28 24 00 50 135 17 200 24

HP 200

USER: admin

Name and Gender

Reference code: 114-464-22

19. *Journal of the American Medical Association*, 277, 1996, 1033-1034.

מחיר	1.50
מחיר	1.50

מאת: ד"ר יצחק שוורץ

beginning in 1994

Order Number: _____

Crystallographic parameters:

[illegible]

年 度 評 定 年 度
 年 度 評 定 年 度

9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-91-92-93-94-95-96-97-98-99-100-101-102-103-104-105-106-107-108-109-110-111-112-113-114-115-116-117-118-119-120-121-122-123-124-125-126-127-128-129-130-131-132-133-134-135-136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156-157-158-159-160-161-162-163-164-165-166-167-168-169-170-171-172-173-174-175-176-177-178-179-180-181-182-183-184-185-186-187-188-189-190-191-192-193-194-195-196-197-198-199-200-201-202-203-204-205-206-207-208-209-210-211-212-213-214-215-216-217-218-219-220-221-222-223-224-225-226-227-228-229-230-231-232-233-234-235-236-237-238-239-240-241-242-243-244-245-246-247-248-249-250-251-252-253-254-255-256-257-258-259-260-261-262-263-264-265-266-267-268-269-270-271-272-273-274-275-276-277-278-279-280-281-282-283-284-285-286-287-288-289-290-291-292-293-294-295-296-297-298-299-300-301-302-303-304-305-306-307-308-309-310-311-312-313-314-315-316-317-318-319-320-321-322-323-324-325-326-327-328-329-330-331-332-333-334-335-336-337-338-339-340-341-342-343-344-345-346-347-348-349-350-351-352-353-354-355-356-357-358-359-360-361-362-363-364-365-366-367-368-369-370-371-372-373-374-375-376-377-378-379-380-381-382-383-384-385-386-387-388-389-390-391-392-393-394-395-396-397-398-399-400-401-402-403-404-405-406-407-408-409-410-411-412-413-414-415-416-417-418-419-420-421-422-423-424-425-426-427-428-429-430-431-432-433-434-435-436-437-438-439-440-441-442-443-444-445-446-447-448-449-450-451-452-453-454-455-456-457-458-459-460-461-462-463-464-465-466-467-468-469-470-471-472-473-474-475-476-477-478-479-480-481-482-483-484-485-486-487-488-489-490-491-492-493-494-495-496-497-498-499-500-501-502-503-504-505-506-507-508-509-510-511-512-513-514-515-516-517-518-519-520-521-522-523-524-525-526-527-528-529-530-531-532-533-534-535-536-537-538-539-540-541-542-543-544-545-546-547-548-549-550-551-552-553-554-555-556-557-558-559-560-561-562-563-564-565-566-567-568-569-570-571-572-573-574-575-576-577-578-579-580-581-582-583-584-585-586-587-588-589-590-591-592-593-594-595-596-597-598-599-600-601-602-603-604-605-606-607-608-609-610-611-612-613-614-615-616-617-618-619-620-621-622-623-624-625-626-627-628-629-630-631-632-633-634-635-636-637-638-639-640-641-642-643-644-645-646-647-648-649-650-651-652-653-654-655-656-657-658-659-660-661-662-663-664-665-666-667-668-669-670-671-672-673-674-675-676-677-678-679-680-681-682-683-684-685-686-687-688-689-690-691-692-693-694-695-696-697-698-699-700-701-702-703-704-705-706-707-708-709-710-711-712-713-714-715-716-717-718-719-720-721-722-723-724-725-726-727-728-729-730-731-732-733-734-735-736-737-738-739-740-741-742-743-744-745-746-747-748-749-750-751-752-753-754-755-756-757-758-759-760-761-762-763-764-765-766-767-768-769-770-771-772-773-774-775-776-777-778-779-780-781-782-783-784-785-786-787-788-789-790-791-792-793-794-795-796-797-798-799-800-801-802-803-804-805-806-807-808-809-810-811-812-813-814-815-816-817-818-819-820-821-822-823-824-825-826-827-828-829-830-831-832-833-834-835-836-837-838-839-840-841-842-843-844-845-846-847-848-849-850-851-852-853-854-855-856-857-858-859-860-861-862-863-864-865-866-867-868-869-870-871-872-873-874-875-876-877-878-879-880-881-882-883-884-885-886-887-888-889-890-891-892-893-894-895-896-897-898-899-900-901-902-903-904-905-906-907-908-909-910-911-912-913-914-915-916-917-918-919-920-921-922-923-924-925-926-927-928-929-930-931-932-933-934-935-936-937-938-939-940-941-942-943-944-945-946-947-948-949-950-951-952-953-954-955-956-957-958-959-960-961-962-963-964-965-966-967-968-969-970-971-972-973-974-975-976-977-978-979-980-981-982-983-984-985-986-987-988-989-990-991-992-993-994-995-996-997-998-999-1000-1001-1002-1003-1004-1005-1006-1007-1008-1009-1010-1011-1012-1013-1014-1015-1016-1017-1018-1019-1020-1021-1022-1023-1024-1025-1026-1027-1028-1029-1030-1031-1032-1033-1034-1035-1036-1037-1038-1039-1040-1041-1042-1043-10

1. $\bar{A} \cup \bar{B}$ 2. $\bar{A} \cap \bar{B}$

2.2622

4. $\frac{1}{2} \times 100 = 50$

Alpha No: 41.1 1

162:17 27.5:27

Control (%) 100.0

[illegible]

25-26 27-28 29-30 31-32 33-34 35-36 37-38 39-40 41-42 43-44 45-46 47-48 49-50 51-52 53-54 55-56 57-58 59-60 61-62 63-64 65-66 67-68 69-70 71-72 73-74 75-76 77-78 79-80 81-82 83-84 85-86 87-88 89-90 91-92 93-94 95-96 97-98 99-100 101-102 103-104 105-106 107-108 109-110 111-112 113-114 115-116 117-118 119-120 121-122 123-124 125-126 127-128 129-130 131-132 133-134 135-136 137-138 139-140 141-142 143-144 145-146 147-148 149-150 151-152 153-154 155-156 157-158 159-160 161-162 163-164 165-166 167-168 169-170 171-172 173-174 175-176 177-178 179-180 181-182 183-184 185-186 187-188 189-190 191-192 193-194 195-196 197-198 199-200 201-202 203-204 205-206 207-208 209-210 211-212 213-214 215-216 217-218 219-220 221-222 223-224 225-226 227-228 229-230 231-232 233-234 235-236 237-238 239-240 241-242 243-244 245-246 247-248 249-250 251-252 253-254 255-256 257-258 259-260 261-262 263-264 265-266 267-268 269-270 271-272 273-274 275-276 277-278 279-280 281-282 283-284 285-286 287-288 289-290 291-292 293-294 295-296 297-298 299-300 301-302 303-304 305-306 307-308 309-310 311-312 313-314 315-316 317-318 319-320 321-322 323-324 325-326 327-328 329-330 331-332 333-334 335-336 337-338 339-340 341-342 343-344 345-346 347-348 349-350 351-352 353-354 355-356 357-358 359-360 361-362 363-364 365-366 367-368 369-370 371-372 373-374 375-376 377-378 379-380 381-382 383-384 385-386 387-388 389-390 391-392 393-394 395-396 397-398 399-400 401-402 403-404 405-406 407-408 409-410 411-412 413-414 415-416 417-418 419-420 421-422 423-424 425-426 427-428 429-430 431-432 433-434 435-436 437-438 439-440 441-442 443-444 445-446 447-448 449-450 451-452 453-454 455-456 457-458 459-460 461-462 463-464 465-466 467-468 469-470 471-472 473-474 475-476 477-478 479-480 481-482 483-484 485-486 487-488 489-490 491-492 493-494 495-496 497-498 499-500 501-502 503-504 505-506 507-508 509-510 511-512 513-514 515-516 517-518 519-520 521-522 523-524 525-526 527-528 529-530 531-532 533-534 535-536 537-538 539-540 541-542 543-544 545-546 547-548 549-550 551-552 553-554 555-556 557-558 559-560 561-562 563-564 565-566 567-568 569-570 571-572 573-574 575-576 577-578 579-580 581-582 583-584 585-586 587-588 589-590 591-592 593-594 595-596 597-598 599-600 601-602 603-604 605-606 607-608 609-610 611-612 613-614 615-616 617-618 619-620 621-622 623-624 625-626 627-628 629-630 631-632 633-634 635-636 637-638 639-640 641-642 643-644 645-646 647-648 649-650 651-652 653-654 655-656 657-658 659-660 661-662 663-664 665-666 667-668 669-670 671-672 673-674 675-676 677-678 679-680 681-682 683-684 685-686 687-688 689-690 691-692 693-694 695-696 697-698 699-700 701-702 703-704 705-706 707-708 709-710 711-712 713-714 715-716 717-718 719-720 721-722 723-724 725-726 727-728 729-730 731-732 733-734 735-736 737-738 739-740 741-742 743-744 745-746 747-748 749-750 751-752 753-754 755-756 757-758 759-760 761-762 763-764 765-766 767-768 769-770 771-772 773-774 775-776 777-778 779-780 781-782 783-784 785-786 787-788 789-790 791-792 793-794 795-796 797-798 799-800 801-802 803-804 805-806 807-808 809-810 811-812 813-814 815-816 817-818 819-820 821-822 823-824 825-826 827-828 829-830 831-832 833-834 835-836 837-838 839-840 841-842 843-844 845-846 847-848 849-850 851-852 853-854 855-856 857-858 859-860 861-862 863-864 865-866 867-868 869-870 871-872 873-874 875-876 877-878 879-880 881-882 883-884 885-886 887-888 889-890 891-892 893-894 895-896 897-898 899-900 901-902 903-904 905-906 907-908 909-910 911-912 913-914 915-916 917-918 919-920 921-922 923-924 925-926 927-928 929-930 931-932 933-934 935-936 937-938 939-940 941-942 943-944 945-946 947-948 949-950 951-952 953-954 955-956 957-958 959-960 961-962 963-964 965-966 967-968 969-970 971-972 973-974 975-976 977-978 979-980 981-982 983-984 985-986 987-988 989-990 991-992 993-994 995-996 997-998 999-1000 1001-1002 1003-1004 1005-1006 1007-1008 1009-1010 1011-1012 1013-1014 1015-1016 1017-1018 1019-1020 1021-1022 1023-1024 1025-1026 1027-1028 1029-1030 1031-1032 1033-1034 1035-1036 1037-1038 1039-1040 1041-1042 1043-1044 1045-1046 1047-1048 1049-1050 1051-1052 1053

21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1050 10

135 136

Status, skills and quality

2. Fraction data = calculated on ambient temperature

4. 1992年12月1日

[illegible]

Copyright © 2012

Figure 1

U.S. SENTRY
Page 1 of 10

Figure 4 (continued)

© 2004 Blackwell Publishing Ltd

Ques. 10

5. JCPDS 00-011-0550

Date: 06/06/2017 Time: 17:50:34 User: Tahir Khalid

File: 001

84 74.84.84

Sample Information

Accession code: 00-011-0550
 Date of collection: 17/06/2017
 Original formula: Cu_2O
 Chemical formula: Cu_2O

Unit cell parameters (room temperature)

Crystal system: Hexagonal
 Space group: $P6_3$
 Z: 2
 a (Å): 3.5370
 c (Å): 3.7836
 V (Å³): 41.2489
 ρ (g/cm³): 5.4030
 ρ_{calc} (g/cm³): 5.4030
 ρ_{meas} (g/cm³): 5.4030

Calculated powder pattern
 R_{wp}: 0.14
 R_{exp}: 0.10
 R_{int}: 0.04

R₂:

Substitution and quality

Substitution: Al_{0.01} Cu_{1.99} O_{1.00}
 Disorder: 0.01
 Disorder: 0.01

Comments

Refinement: 0.01
 Refinement: 0.01

0.01

Date: 06/06/2017 Time: 17:50:34 User: Tahir Khalid

File: 001

23	7	9	1	1.2100	79.079	0.0
37	8	8	1	1.1940	80.355	0.0
31	8	8	2	1.1860	80.662	0.0
34				1.1710	82.011	0.0
33			1	1.1700	82.352	0.0

6. JCPDS 00-014-0458

Date: 6/14/2017 Time: 12:00 PM User: Teknik Material		File: 200	Job: Teknik Material
Name and formula			
Reference code	01-070-0458		
Crystalline	High purity		
Compound name	Barium sulfate		
Chemical formula	BaSO ₄		
Crystal system	Orthorhombic		
Space group	Pnma		
Crystallographic parameters			
Unit cell type	Orthorhombic		
Space group	Pnma		
a (Å)	12.100		
b (Å)	8.100		
c (Å)	12.100		
Volume (Å ³)	1170.00		
Density (g/cm ³)	4.25		
Formula weight	233.39		
Z	4		
R _{int}	0.01		
Status, quality and quality			
Source	Standard sample		
Substrate	Aluminum		
Preparation	Powder		
Measurement	X-ray		
Refinement	Rietveld		
Comments			

0.24

Date: 6/14/2017 Time: 12:03 PM User: Teknik Material						File: 200
31	5	3	5	1.23700	79.315	20.0
32	4	2	16	1.11400	37.954	20.0
33	3	1	21	1.03530	30.430	40.0
34	0	0	24	1.04180	35.047	20.0
35	2	2	24	0.93240	133.275	30.0
36				0.96270	136.288	40.0
37				0.93210	111.164	20.0

7. JCPDS 00-003-1049

Date: 6/16/2017 Time: 10:28:24 PM Host: Test-01-Pk-4	File: JPD	Area: Test-01-Pk-4
Name and formula		
Reference code:	00-003-1049	
Phase name:	K ₂ FeO ₄ (Rb)	
Chemical formula:	K ₂ FeO ₄	
Empirical formula:	FeO ₄	
Chemical formula:	FeO ₄	
Crystallographic parameters		
Crystal system:	Ortho	
a (Å):	4.11100	
b (Å):	3.12500	
c (Å):	4.11100	
Angle (°):	90.0000	
Volume (Å ³):	54.1110	
Gamma (°):	90.0000	
Formula unit (Z):	2.00	
K ₂ FeO ₄ :	1	
Status, utilities and quality		
Index:	Lowest observed intensity	
Refinement:	R _{int} = 0.0100, R _{sigma} = 0.0090, R _{exp} = 0.0090, S _{min} = 0.0000, S _{max} = 0.0000	
Quality:	0.0000	
Comments		
Unit cell:	Ortho	
Refinement:	R _{int} = 0.0100, R _{sigma} = 0.0090, R _{exp} = 0.0090, S _{min} = 0.0000, S _{max} = 0.0000	
Index:	Lowest observed intensity	

Date: 6/16/2017 Time: 10:28:24 PM Host: Test-01-Pk-4	File: JPD	Area: Test-01-Pk-4
--	-----------	--------------------

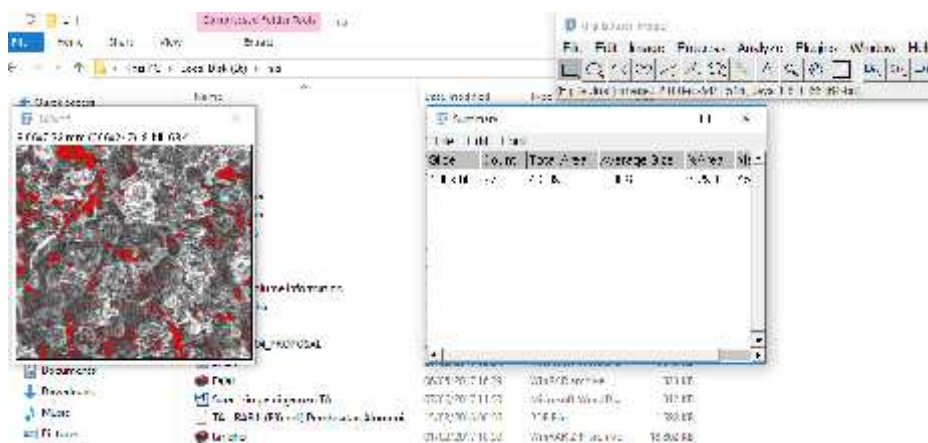
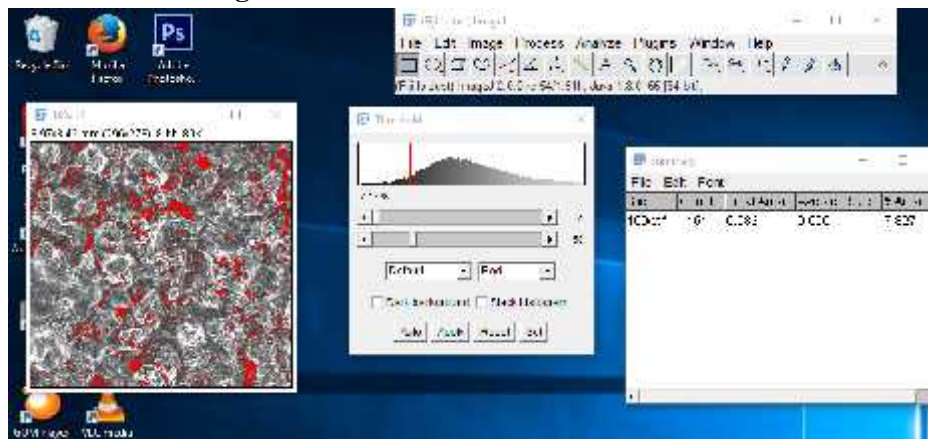
References

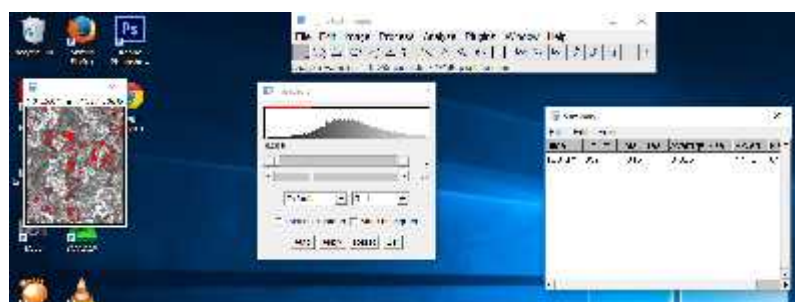
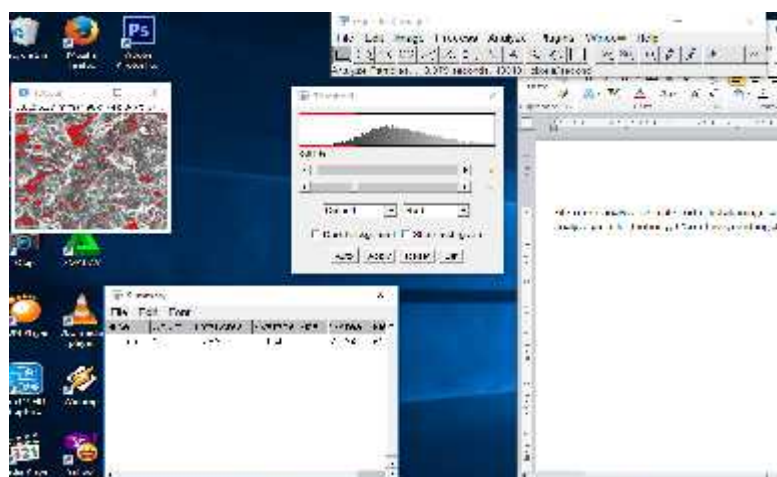
1. J. L. Kice, J. Am. Chem. Soc., 85, 10, 1963

Table 1

No.	h	k	l	d (Å)	2θ (°)	I (%)
1	1	1	0	2.12500	44.773	100.0
2	2	0	0	1.13500	80.000	90.0
3	2	1	1	1.13500	80.000	90.0

8. Hasil Surface Image J





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Fajar Kurniawati, lahir di Klaten 22 Maret 1995. Merupakan anak kedua dari pasangan Taufiq dan Sumiyah. Penulis telah menempuh pendidikan formal, yaitu TK PG Colomadu, SDN Manahan Surakarta, SMP N 4 Surakarta dan SMA N 3 Surakarta. Setelah lulus dari SMA tahun 2013, penulis diterima menjadi mahasiswa di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.

Semasa menjadi mahasiswa ITS penulis aktif dalam kegiatan organisasi LDJ (Lembaga Dakwah Jurusan) Ash-haabul Kahfi Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS dan Departemen Media Informasi HMMT. Dalam bidang organisasi tahun kedua menjadi Staff Departemen dan tahun ketiga menjadi fungsionaris organisasi. Pada tahun ketiga penulis mengambil mata kuliah kerja praktek di PT. Semen Indonesia (Persero) Plant Tuban dengan topik **“Analisis Kegagalan Pengelasan Grinding Roll pada Seksi Finish Mill1-2 Semen Indonesia”** dan penulis menutup kuliah di Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Variasi Jarak *Spray* Pelapisan *FeCrNiMnCSi* Metode *Wire Arc Spray* terhadap Porositas dan Abrassive Wear Resistance *Grey Cast Iron FC25*”**.

Email : fkurniawati15@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)